

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Ocelová víceúčelová hala s administrativní částí

Steel Multipurpose Production Hall with an Administrative Annex

Student:

Ing. Jiří Kozelský

Vedoucí diplomové práce:

Dr. Ing. Tomáš Novotný

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Jiří Kozelský**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: **Ocelová víceúčelová hala s administrativní částí**  
**Steel Multipurpose Production Hall with an Administrative Annex**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte projekt nosné ocelové a ocelobetonové konstrukce víceúčelové haly s administrativní částí. Diplomová práce bude obsahovat:

- přehled požadavků na konstrukci,
- dispoziční návrh,
- studii alespoň tří alternativ řešení nosného systému,
- diskusi k různým alternativám řešení,
- realizační projekt zvolené optimální varianty konstrukce, který zahrnuje technickou zprávu, statický výpočet konstrukce (velká statika), návrh rozhodujících detailů (malá statika), potřebnou výkresovou dokumentaci a projekční výkazy materiálu.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- ČSN EN 1990 Eurokód: zásady navrhování konstrukcí. ČNI.
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI.
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. ČNI.
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. ČNI.
- ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1.1: Obecná pravidla pro pozemní stavby, ČNI.
- ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčnic, ČNI
- ČSN EN 1994-1-1 Eurokód 4: Navrhování ocelobetonových konstrukcí - Část 1.1: Obecná pravidla pro pozemní stavby, ČNI.
- Včetně změn, oprav a dodatků.
- Studnička J., Holický M.: Ocelové konstrukce 20 – Zatížení staveb. ČVUT Praha, 1998.
- Studnička J.: Ocelové konstrukce 10 – Normy pro navrhování. ČVUT Praha, 2003.
- Wald F.: Ocelové konstrukce 10 – Tabulky. ČVUT Praha, 1999.
- Wald F.: Prvky ocelových konstrukcí – Příklady podle Eurokódů. ČVUT Praha, 1998.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

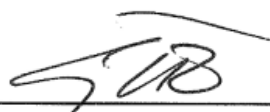
Vedoucí diplomové práce: **Dr.Ing. Tomáš Novotný**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

**Prohlašuji:**

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu diplomové práce Dr. Ing. Tomáši Novotnému za jeho čas, který věnoval konzultacím, za jeho věcné připomínky a rady, které vedly k dokončení této diplomové práce.

Další poděkování bych rád věnoval Ing. Miroslavu Rosmanitovi, Ph.D., který mi dopomohl k utříbení znalostí nabytých v průběhu studia, stejně jako k hlubšímu pochopení problematiky ocelových konstrukcí, a také za jeho čas, který pomohl objasnit a vyřešit jednotlivé problémy, jež se během tvorby práce vyskytly.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své manželce za trpělivost, kterou prokázala během mého studia, stejně jako za podporu, které se mi od ní dostalo.

## **Anotace**

Předmětem diplomové práce je jednolodní ocelová hala s vestavěnou administrativní částí. Hala je zastřešena "sedlovou" střechou se spádem 5 % a hřebenem rovnoběžným s podélnou osou haly. Střešní plášť je navržen ve dvou variantách - s vaznicemi a jako bezvaznicový. Obě varianty jsou dále vyhodnoceny a je zvolena vhodnější varianta s ohledem na hlavní nosný systém příčných vazeb a efektivitu návrhu. Příčné vazby jsou navrženy ve dvou nosných variantách a to jako plné dvoukloubové rámy s osovou vzdáleností 6,0 m a jako příhradový vazník uložený na vetknutých sloupech. Předmětem návrhu je také ocelobetonový strop administrativní části nad 1.NP, který je navržen také ve dvou nosných variantách, a to jako ocelobetonový strop tvořený stropnicemi a průvlaky a ve druhé variantě jako plechobetonový strop bez stropnic, jen s průvlaky.

## **Klíčová slova**

Ocelová nosná konstrukce; příhradový vazník; ocelobetonový strop; vazník; sloupy; hala; administrativa; vetknutá patka; styčník; zatížení

## **Annotation**

The subject of this thesis is a single-aisle steel hall with a built-in administrative area. The hall is covered with a saddle roof with a decline of 5 % and a ridge parallel to the longitudinal axis of the hall. The roofing is designed in two variants – with purlins and without purlins. Both variants are further evaluated and it is chosen the more suitable variant with respect to the main load-bearing system of cross-links and the design efficiency. Cross-links are designed in two load-bearing variants, either as full double-jointed frames with the axial distance of 0.6 m or as a truss girder placed on the fixed columns. The subject of the design is also a steel-concrete ceiling of the administrative area over the first ground floor that is also designed in two load-bearing variants, either as a steel-concrete ceiling formed by primary and secondary beams or, in the second variant, as a sheet-concrete ceiling without secondary beams, only with primary beams.

## **Keywords**

Steel load-bearing structure; truss girder; steel-concrete ceiling; girder; columns; hall; administration; fixed base; joint; load

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	4
1. Úvod .....	17
1.1. Halové stavby .....	17
1.2. Ocelobetonové konstrukce .....	18
2. Návrh .....	20
3. Zatížení .....	23
4. Střešní plášť .....	28
4.1. Střešní plášť s vaznicemi .....	28
4.2. Střešní plášť bezvaznicový .....	30
4.3. Vyhodnocení variant střešního pláště .....	31
5. Vaznice .....	32
5.1. Zatížení .....	33
5.2. Návrh vaznice .....	34
5.3. Mezilehlá vaznice .....	35
5.4. Okapová vaznice .....	38
5.5. Vrcholová vaznice .....	38
5.6. Krajiní zesílená vaznice .....	39
6. Rám - Zatížení a kombinace zatěžovacích stavů (KZS) .....	44
6.1. Zatížení .....	44
6.2. Kombinace zatěžovacích stavů .....	48
7. Rám - posudek příčle .....	50
7.1. Rámový roh .....	51
7.2. Pole .....	56
8. Rám - Mezní stav únosnosti sloupu .....	57
9. Vazník - Zatížení a kombinace zatěžovacích stavů (KZS) .....	64



9.1.	Zatížení .....	64
9.2.	Kombinace zatěžovacích stavů .....	68
10.	Vazník - posudek vazníku .....	70
11.	Srovnání variant hlavní nosné konstrukce příčné vazby .....	74
12.	Posouzení vybraného styčnicku .....	75
13.	Vazník - posudek sloupu .....	80
14.	Vazník - posudek patky .....	88
15.	Ztužení haly .....	103
16.	Ocelobetonový strop - stropnice .....	107
16.1.	Betonová žebrová deska .....	110
16.2.	Stropnice .....	113
17.	Ocelobetonový strop - průvlak .....	121
18.	Ocelobetonový strop - sloup .....	130
19.	Plechobetonový strop - trapézový plech .....	133
19.1.	Návrh trapézového plechu .....	134
19.2.	Betonová žebrová deska .....	138
20.	Plechobetonový strop - průvlak .....	142
21.	Plechobetonový strop - sloup .....	148
22.	Srovnání variant hlavní nosné konstrukce vloženého patra .....	151
23.	Podélné a příčné ztužení vestavěného patra .....	152
24.	Styčnick - 2 stropnice, 2 průvlaky a sloup .....	154
24.1.	Přípoj průvlaku .....	154
24.2.	Přípoj stropnice .....	157
25.	Výkaz výměr .....	160
26.	Technická zpráva .....	161
26.1.	Popis konstrukce .....	161

<b>26.2.</b>	<b>Střešní plášť</b> .....	162
<b>26.3.</b>	<b>Obvodový plášť</b> .....	162
<b>26.4.</b>	<b>Hlavní nosná konstrukce haly</b> .....	162
<b>26.5.</b>	<b>Ztužení haly</b> .....	163
<b>26.6.</b>	<b>Vestavěné patro</b> .....	163
<b>26.7.</b>	<b>Ztužení vestavěného patra</b> .....	163
<b>26.8.</b>	<b>Závěr technické zprávy</b> .....	164
<b>27.</b>	<b>Závěr</b> .....	165
	<b>Seznam obrázků</b> .....	166
	<b>Seznam tabulek</b> .....	167
	<b>Seznam použitých pramenů</b> .....	168
	<b>Seznam příloh</b> .....	170

## Seznam použitých zkratek a symbolů

$A$ [ $\text{mm}^2$ ]	plocha průřezu
$A_{\text{eff,nut}}$ [ $\text{mm}^2$ ]	minimální nutná plocha základu
$A_{\text{eff,skut}}$ [ $\text{mm}^2$ ]	skutečná efektivní plocha základu
$A_{\text{př}}$ [ $\text{mm}^2$ ]	plocha průřezu
$A_s$ [ $\text{m}^2$ ]	plocha
$A_{s,\text{min}}$ [ $\text{m}^2$ ]	minimální plocha hlavní nosné výztuže
$A_{s,\text{min},1}$ [ $\text{m}^2$ ]	minimální plocha 1 hlavní nosné výztuže
$A_{s,\text{min},2}$ [ $\text{m}^2$ ]	minimální plocha 2 hlavní nosné výztuže
$A_{s,\text{min,tř}}$ [ $\text{m}^2$ ]	minimální plocha rozdělovací výztuže
$A_{s,\text{tř}}$ [ $\text{m}^2$ ]	plocha třmínků na 1 m <sup>2</sup> desky
$A_v$ [ $\text{mm}^2$ ]	plocha podélné výztuhy
$A_{vz}$ [ $\text{mm}^2$ ]	plocha stěny ve smyku
$A_{vz,\text{př}}$ [ $\text{mm}^2$ ]	plocha stěny ve smyku
$A_{vz,v}$ [ $\text{mm}^2$ ]	plocha stěny podélné výztuhy ve smyku
$A_{we}$ [ $\text{mm}^2$ ]	celková plocha svaru výztuh
$B$ [m]	šířka haly včetně obvodového pláště
$B1$ [m]	rozpětí haly (osa sloupů)
$B2$ [m]	vzdálenost podélných vazeb (osa sloupů)
$C_{pi}^+$ [-]	hodnota součinitele tlaku (přetlak)
$C_1$ [-]	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců
$C_{1,0}$ [-]	součinitel tvaru momentového obrazce
$C_2$ [-]	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců
$C_{pe}^{A-}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast A
$C_{pe}^{B-}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast B
$C_{pe}^{C-}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast C
$C_{pe}^{D+}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast D
$C_e$ [-]	součinitel expozice
$C_{pe}^{E-}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast E
$C_{pe}^{F-}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast F
$C_{pe}^{G-}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast G
$C_{pe}^{H-}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast H
$C_{pe}^{I+}$ [-]	hodnota součinitele tlaku pro oblast I

$C_{pe}^I [-]$	hodnota součinitele tlaku pro oblast I
$C_{mLT} [-]$	součinitel $C_m$ ekvivalentního konstantního momentu
$C_{my} [-]$	součinitel $C_m$ ekvivalentního konstantního momentu
$C_{pi} [-]$	hodnota součinitele tlaku (podtlak)
$C_{Rd,c} [-]$	součinitel
$C_t [-]$	tepelný součinitel
$E [MPa]$	modul pružnosti v tahu a tlaku
$E'_c [MPa]$	účinný modul pružnosti betonu při uvažování vlivu dotvarování betonu
$E_{cm} [MPa]$	sečnový modul pružnosti betonu
$F_{1,d,bet} [kN]$	návrhová hodnota zatížení při betonáži, vyvozené více zatíženou stropnicí
$F_{1,k,bet} [kN]$	proměnná hodnota zatížení při betonáži, vyvozené více zatíženou stropnicí
$F_{2,d,bet} [kN]$	návrhová hodnota zatížení při betonáži, vyvozené méně zatíženou stropnicí
$F_{2,k,bet} [kN]$	proměnná hodnota zatížení při betonáži, vyvozené méně zatíženou stropnicí
$F_{b,Rd} [kN]$	únosnost navrženého spoje v otláčení
$F_{d,průvlak} [kN]$	návrhová hodnota zatížení průvlaků
$F_{d,stropnice} [kN]$	návrhová hodnota zatížení stropnicemi
$F_{d,\Delta} [kN]$	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{g,d,ost} [kN]$	celkové návrhové ostatní stálé zatížení přenesené stropnicemi
$F_{g,k,ost} [kN]$	celkové charakteristické ostatní stálé zatížení přenesené stropnicemi
$F_{k,1} [kN]$	charakteristická hodnota okapové vaznice
$F_{k,2} [kN]$	charakteristická hodnota mezilehlé vaznice
$F_{k,celk} [kN]$	celkové charakteristické zatížení vyvozené stropnicí při betonáži
$F_{k,průvlak} [kN]$	charakteristická hodnota zatížení průvlaků
$F_{k,stropnice} [kN]$	charakteristická hodnota zatížení stropnicemi
$F_{k,\Delta} [kN]$	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{q,d} [kN]$	celkové návrhové užité zatížení přenesené stropnicemi
$F_{q,k} [kN]$	celkové charakteristické užité zatížení přenesené stropnicemi
$F_{t,Rd} [kN]$	únosnost na přetržení šroubu
$F_{v,Rd} [kN]$	únosnost navrženého spoje ve střihu

$F_{w,Rd}$ [kN]	návrhová únosnost svaru
$G$ [MPa]	modul pružnosti ve smyku
$H$ [m]	výška haly k okapu
$H_{celk}$ [m]	celková výška haly
$H_{d,\Phi}$ [kN]	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil
$H_{Ed,celk}$ [kN]	celkové návrhové vodorovné zatížení, včetně ekvivalentních sil
$H_{k,\Phi}$ [kN]	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojce sil
$I_I$ [m <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti spřaženého průřezu
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	moment tuhosti v prostém kroucení
$I_v(z)$ [-]	intenzita turbulence
$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	výsečový moment setrvačnosti
$I_{we}$ [mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti svaru
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti k ose y
$I_{y,eff^-}$ [mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti efektivního průřezu pro použitelnost na 1 m délky
$I_{y,eff^+}$ [mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti efektivního průřezu pro použitelnost na 1 m délky
$I_{y,v}$ [mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti podélné výztuhy k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti k ose z
$K_{wt}$ [-]	bezrozměrný parametr kroucení
$L$ [m]	délka
$L_1$ [m]	rozpětí haly (osa sloupů)
$L_2$ [m]	vzdálenost příčných vazeb (osa sloupů)
$L_{cr,y}$ [m]	vzpěrná délka kolmo k ose y
$L_{cr,z}$ [m]	vzpěrná délka kolmo k ose z
$L_{LT}$ [m]	vzpěrná délka na klopení (vzdálenost mezi body zajištěnými proti posunu z roviny)
$L_m$ [m]	osová vzdálenost
$L_p$ [m]	délka průvlaku
$L_{pru}$ [m]	osová vzdálenost průvlaků
$L_{přičle}$ [m]	délka přičle od sloupu po horní styčník rámu
$L_s$ [m]	délka stropnice
$L_{TR}$ [m]	délka trapézového plechu
$M_{cr}$ [Nmm]	pružný kritický moment při ztrátě příčné a torzní stability
$M_{Ed}$ [kNm]	návrhová hodnota ohybového momentu

$M_{Ed}^-$ [kNm]	návrhová hodnota ohybového momentu nad podporou
$M_{Ed,1}$ [kN/m]	návrhová hodnota ohybového momentu pro gravitační kombinaci
$M_{Ed,2}$ [kN/m]	návrhová hodnota ohybového momentu v poli pro kombinaci sání větru
$M_{Ed,vest}$ [kNm]	návrhová hodnota ohybového momentu včetně účinků od napojení stropu vestavěného patra
$M_{Ed}^+$ [kNm]	návrhová hodnota ohybového momentu v poli
$M_{Ek, mont}$ [kNm]	ohybový moment od zatížení při montáži
$M_{Ek, prov}$ [kNm]	ohybový moment od užitého zatížení a od ostatních stálých zatížení
$M_L$ [kNm]	ohybový moment na tažené straně patky
$M_P$ [kNm]	ohybový moment na tlačené straně patky
$M_{pl,a,Rd}$ [kNm]	plastická únosnost ocelového nosníku v ohybu
$M_{pl,Rd}$ [kNm]	plastická únosnost v ohybu
$M_{pl,Rd}^-$ [kNm]	plastická únosnost v ohybu nad podporou
$M_{pl,Rd}^+$ [kNm]	plastická únosnost v ohybu v poli
$M_{Rd}$ [kNm]	únosnost v ohybu
$M_{v,Rd,ad}$ [kNm]	únosnost v ohybu redukována vlivem smyku
$M_{v,Rd,bd}$ [kNm]	únosnost v ohybu redukována vlivem smyku
$M_{y,Rk}$ [kNm]	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y
$M_{z,Rk}$ [kNm]	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z
$N_{b,Rd}$ [kN]	únosnost ve vzpěrném tlaku
$N_c$ [kN]	redukována tlaková síla v betonové desce
$N_{c+}$ [kN]	vliv utáhnutí šroubů
$N_{celkové}$ [kN]	celková návrhová hodnota tíhy v základové spáře
$N_{cf}$ [kN]	návrhová velikost podélné smykové síly
$N_{Ed}$ [kN]	návrhová hodnota normálové síly
$N_{pat,plech}$ [kN]	návrhová hodnota vlastní tíhy patního plechu včetně podélných výztuh
$N_{patka}$ [kN]	návrhová hodnota vlastní tíhy betonové patky
$N_{Rk}$ [kN]	charakteristická hodnota únosnosti v tlaku
$N_{t,sd,max}$ [kN]	maximální tahová síla ve šroubu způsobená vlivem tolerance
$N_{t,sd,min}$ [kN]	minimální tahová síla ve šroubu způsobená vlivem tolerance
$P_{Rd}$ [kN]	návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku
$P_{Rd,r}$ [kN]	návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku redukována redukčním součinitelem

$S_{f,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	statický moment patního plechu v místě svaru
$T_I$ [kN]	tahová síla v teoretické podpoře pro výpočet sil ve šroubech
$T_{max}$ [kN]	maximální tahová síla v místě ocelové patky na jedné straně patky
$V_{b,Rd}$ [kN]	únosnost ve smyku při boulení
$V_{b,Rd,max}$ [kN]	maximální smyková únosnost při boulení
$V_{bw,Rd}$ [kN]	návrhová smyková únosnost příspěvku stojiny
$V_{Ed}$ [kN]	návrhová hodnota posouvající síly
$V_L$ [kN]	posouvající síla na tažené straně patky
$V_P$ [kN]	posouvající síla na tlačené straně patky
$V_{pl,Rd}$ [kN]	plastická únosnost ve smyku
$V_{Rd,c}$ [kN]	výsledná smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$V_{Rd,c,l}$ [kN]	výpočtová smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$V_{Rd,c,min}$ [kN]	minimální smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	pružný modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	plastický modul průřezu k ose y
$W_{pl,y,př}$ [mm <sup>3</sup> ]	plastický modul průřezu k ose y
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	plastický modul průřezu k ose z
$W_{y,d}$ [mm <sup>3</sup> ]	elastický průřezový modul k dolním vláknům svařeného průřezu
$W_{y,eff^-}$ [mm <sup>3</sup> ]	průřezový modul efektivního průřezu pro únosnost na 1 m délky
$W_{y,eff^+}$ [mm <sup>3</sup> ]	průřezový modul efektivního průřezu pro únosnost na 1 m délky
$W_{y,h}$ [mm <sup>3</sup> ]	elastický průřezový modul k horním vláknům svařeného průřezu
$a$ [m]	délkový rozměr, případně účinná výška svaru
$a_1$ [mm]	započitatelný rozměr délky patky
$a_{patka}$ [mm]	délka betonové patky
$a_{we}$ [mm]	účinná výška svaru
$b$ [m]	šířka
$b_0$ [m]	střední šířka mezi dvěma vlnami trapézového plechu
$b_2$ [mm]	průměr profilu diagonály D2 (tlačená)
$b_3$ [mm]	průměr profilu svislice V1
$b_{\check{c}}$ [mm]	šířka čelní desky
$b_{\check{c},max}$ [mm]	maximální šířka čelní desky
$b_{\check{c},min}$ [mm]	minimální šířka čelní desky

$b_{\text{dolní}}$ [m]	šířka spodní vlny trapézového plechu
$b_{\text{e,p,D1}}$ [mm]	účinná šířka při prolomení smykem
$b_{\text{e,p,D2}}$ [mm]	účinná šířka při prolomení smykem
$b_{\text{e,p,V1}}$ [mm]	účinná šířka při prolomení smykem
$b_{\text{eff}}$ [m]	celková účinná šířka
$b_{\text{eff,D1}}$ [mm]	účinná šířka přípoje mezipásového prutu k pásu
$b_{\text{eff,D2}}$ [mm]	účinná šířka přípoje mezipásového prutu k pásu
$b_{\text{eff,V1}}$ [mm]	účinná šířka přípoje mezipásového prutu k pásu
$b_f$ [mm]	šířka podélné výztuhy
$b_{\text{HEA}}$ [mm]	šířka pásnice sloupu
$b_{\text{horní}}$ [mm]	šířka vlny trapézového plechu
$b_{\text{patka}}$ [mm]	šířka betonové patky
$b_{\text{př}}$ [mm]	šířka pásnice
$b_{\text{vln}}$ [m]	osová vzdálenost dvou vln trapézového plechu
$b_w$ [m]	nejmenší šířka průřezu v tažené oblasti
$b_{\text{žeber}}$ [m]	osová vzdálenost žeber
$c$ [mm]	délka přečnívající části podélné výztuhy mimo sloup
$c_1$ [mm]	funkční přesah patky
$c_{\text{dir}}$ [-]	součinitel směru větru
$c_{\text{nom}}$ [m]	minimální krytí s ohledem na třídu prostředí
$c_o(z)$ [-]	součinitel ortografie
$c_r(z)$ [-]	součinitel drsnosti terénu
$c_{\text{season}}$ [-]	součinitel ročního období
$d_0$ [mm]	průměr díry pro šroub
$d_{d0}$ [mm]	průměr svarového límečku
$d_g$ [m]	největší jmenovitý rozměr zrna kameniva
$e_1$ [mm]	vzdálenost od konce ve směru působící síly
$e_2$ [mm]	vzdálenost od okraje kolmo na směr působící síly
$e_{\text{max}}$ [mm]	maximální excentricita směrem pod neutrální osu pásu
$f$ [mm]	vzdálenos osy kotevního šroubu od konce patního plechu v podélném směru
$f_{\text{ck}}$ [MPa]	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech
$f_{\text{ctm}}$ [Mpa]	charakteristická hodnota pevnosti betonu v tahu



$f_{jd}$ [MPa]	návrhová pevnost betonu v tlaku
$f_u$ [MPa]	napětí na mezi pevnosti
$f_{ub}$ [MPa]	napětí na mezi pevnosti šroubu
$f_{vw,d}$ [MPa]	návrhová pevnost svaru ve smyku
$f_y$ [MPa]	napětí na mezi kluzu
$f_{y,s}$ [MPa]	napětí na mezi kluzu
$g$ [mm]	vzdálenost osy kotevního šroubu od konce patního plechu v příčném směru
$g_1$ [mm]	mazera mezi diagonálou D1 a svislicí
$g_2$ [mm]	mazera mezi diagonálou D2 a svislicí
$g_{d,1}$ [kN/m]	návrhová hodnota vlastní tíhy příčle
$g_{d,bet}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	výpočtová hodnota stálého zatížení při betonáži
$g_{d,celkové}$ [kN/m]	návrhová hodnota celkového stálého zatížení
$g_{d,HEA}$ [kN/m]	návrhová hodnota vlastní tíhy sloupu
$g_{d,IPE}$ [kN/m]	návrhová hodnota vlastní tíhy
$g_{d,min}$ [kN/m]	návrhová hodnota minimálního stálého zatížení
$g_{h,plech}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	hmotnost trapézového plechu
$g_{izol}$ [kN/m]	tepelná izolace střechy
$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	ostatní stálé zatížení
$g_{k,1}$ [kN/m]	charakteristická hodnota vlastní tíhy příčle
$g_{k,2}$ [kN/m]	charakteristická hodnota obvodového pláště
$g_{k,3}$ [kN/m]	charakteristická hodnota vlastní tíhy sloupu
$g_{k,bet}$ [kN/m]	charakteristická hodnota stálého zatížení při betonáži
$g_{k,celk}$ [kN/m]	celkové charakteristické stálé zatížení při betonáži
$g_{k,HEA}$ [kN/m]	charakteristická hodnota vlastní tíhy sloupu
$g_{k,IPE}$ [kN/m]	charakteristická hodnota vlastní tíhy
$g_{k,min}$ [kN/m]	charakteristická hodnota minimálního stálého zatížení
$g_{k,plech}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristické zatížení vyvolané hmotností trapézového plechu
$g_{k,podhled}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristické zatížení vyvolané tíhou podhledu
$g_{k,rybnik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	přídavné charakteristické zatížení vyvolané rybníkovým efektem
$g_{k,VZT}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristické zatížení rozvody zavěšenými na trapézový plech
$g_{min}$ [mm]	minimální mezera mezi profily diagonály a svislice
$g_{návrh}$ [mm]	navržená mezera mezi profily diagonály a svislicí

$g_{TR}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	vlastní tíha trapézového plechu obvodového pláště
$h$ [m]	výška
$h_a$ [m]	vzdálenost mezi těžištěm ocelového nosníku a vnějším krajem betonové desky
$h_b$ [m]	tloušťka betonové desky
$h_{b,s}$ [m]	srovnávací tloušťka žeber - vyrovnaná tloušťka betonu v žebrech na 1 m'
$h_{\check{c}}$ [mm]	výška čelní desky
$h_{\check{c},min}$ [mm]	minimální výška čelní desky s ohledem na rozteče šroubů
$h_{HEA}$ [mm]	výška sloupu
$h_p$ [m]	výška vlny trapézového plechu
$h_{patka}$ [mm]	výška betonové patky
$h_{podlití}$ [mm]	výška padliti
$h_{př}$ [mm]	výška nosníku
$h_s$ [m]	celková výška betonové desky
$h_{sc}$ [mm]	výška trnu snižená o 5 mm
$i_y$ [mm]	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	poloměr setrvačnosti k ose z
$k$ [-]	součinitel
$k_I$ [-]	součinitel
$k_I$ [-]	součinitel turbulence
$k_j$ [-]	součinitel koncentrace napětí
$k_l$ [-]	redukční součinitel
$k_r$ [-]	součinitel terénu
$k_t$ [-]	redukční součinitel
$k_w$ [-]	součinitel vzpěrné délky uložení v kroucení
$k_y$ [-]	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
$k_{yy}$ [-]	součinitel interakce pro pruty náchylné ke zkroucení
$k_z$ [-]	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
$k_{zy}$ [-]	součinitel interakce pro pruty náchylné ke zkroucení
$k_{\phi}$ [-]	součinitel
$n$ [-]	pracovní součinitel

$n_f$ [ks]	minimální počet trnů na jednu polovinu nosníku pro zajištění plného spřežení
$n_r$ [-]	počet trnů v jednom žeburu v příčném řezu
$n_{sk}$ [ks]	skutečný počet trnů mezi kritickými průřezy $V_{max}$ a $M_{max}$
$p_1$ [mm]	rozteč ve směru působící síly
$p_2$ [mm]	rozteč kolmo na směr působící síly
$r$ [mm]	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$r_{př}$ [mm]	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$r_t$ [mm]	vzdálenost osy sloupu od kotevních šroubů
$s_{d,1}$ [kN/m]	návrhová hodnota zatížení pro rovnoměrný sníh
$s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
$s_{k,1}$ [kN/m]	charakteristická hodnota zatížení pro rovnoměrný sníh
$s_{k,1,1}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota zatížení pro rovnoměrný sníh
$s_{k,2}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota zatížení pro nerovnoměrný sníh
$s_{max}$ [m]	maximální osová vzdálenost jednotlivých prutů hlavní nosné výztuže
$s_{max,tř}$ [m]	maximální osová vzdálenost jednotlivých prutů rozdělovací výztuže
$s_{min}$ [m]	minimální světlá vzdálenost jednotlivých prutů hlavní nosné výztuže
$š$ [mm]	šířka trapézového plechu
$t$ [mm]	tloušťka trapézového plechu
$t_0$ [mm]	tloušťka stěny profilu spodního pásu SP
$t_1$ [mm]	tloušťka stěny profilu diagonály D1
$t_2$ [mm]	tloušťka stěny profilu diagonály D2
$t_3$ [mm]	tloušťka stěny profilu svislice V1
$t_č$ [mm]	tloušťka čelní desky
$t_f$ [mm]	tloušťka pásnice
$t_{f,př}$ [mm]	tloušťka pásnice
$t_p$ [mm]	tloušťka patního plechu
$t_w$ [mm]	tloušťka stojiny
$t_{w,průvlak}$ [mm]	tloušťka stojiny průvlaku
$t_{w,př}$ [mm]	tloušťka stojiny
$t_{w,stropnice}$ [mm]	tloušťka stojiny průvlaku
$v_b$ [m/s]	základní rychlost větru
$v_{b,0}$ [m/s]	výchozí základní rychlost větru

$v_m(z)$ [m/s]	charakteristická střední rychlost větru
$w_k^{A-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_k^{B-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_k^{C-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_k^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D
$w_k^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E
$w_k^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F
$w_k^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G
$w_k^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H
$w_k^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_k^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_{LIM}$ [mm]	limitní hodnota průhybu
$w_{MAX}$ [mm]	maximální průhyb vaznice
$x$ [m]	výška tlačené části betonové desky a poloha neutrální osy od horního okraje betonové desky
$x_1$ [mm]	vzdálenost posuzovaného řezu od osy patky
$x_2$ [mm]	vzdálenost posuzovaného řezu od osy patky
$z_0$ [m]	parametr drsnosti terénu
$z_a$ [m]	vzdálenost těžiště ocelového nosníku od neutrální osy
$z_c$ [m]	vzdálenost těžiště betonové desky od neutrální osy
$z_e$ [m]	referenční výška
$z_g$ [mm]	vzdálenost působiště zatížení od středu smyku
$z_i$ [m]	referenční výška
$z_{min}$ [m]	minimální výška
$z_T$ [mm]	zetová souřadnice těžiště svařeného průřezu od spodní hrany patního plechu
$\alpha$ [-]	součinitel
$\alpha_b$ [-]	součinitel
$\alpha_{cr}$ [-]	součinitel vyjadřující zvýšení návrhového zatížení při dosažení ztráty stability
$\alpha_{LT}$ [-]	součinitel imperfekce při klopení
$\alpha_v$ [-]	součinitel
$\alpha_y$ [-]	součinitel imperfekce k ose y

$\alpha_z$ [-]	součinitel imperfekce k ose z
$\beta_j$ [-]	součinitel
$\beta_K$ [-]	poměr šířky mezipásového prutu k šířce pásu pro typ styčnicku K s mezerou
$\beta_{KT}$ [-]	poměr šířky mezipásového prutu k šířce pásu pro typ styčnicku KT
$\beta_w$ [-]	korekční součinitel koutových svarů
$\gamma_c$ [-]	dílčí součinitel spolehlivosti pro beton
$\gamma_{M0}$ [-]	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$\gamma_{M2}$ [-]	dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje
$\gamma_{M5}$ [-]	dílčí součinitel spolehlivosti pro únosnost styčnicků příhradových nosníků z prutů uzavřeného průřezu
$\gamma_s$ [-]	dílčí součinitel spolehlivosti výztuže pro prostou únosnost
$\gamma_v$ [-]	dílčí součinitel
$\Delta$ [mm]	tolerance v osazení šroubu
$\delta_1$ [mm]	průhyb od stálých zatížení při montáži
$\delta_2$ [mm]	průhyb od nahodilých zatížení a ostatních stálých zatížení
$\delta_{celk}$ [mm]	celkový průhyb
$\delta_{H,Ed}$ [mm]	vodorovné posunutí horní úrovně rámu vůči patě rámu
$\delta_{lim}$ [mm]	limitní hodnota průhybu
$\delta_{lim,rybnik}$ [mm]	limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt
$\delta_{max}$ [mm]	maximální průhyb po odečtení nadvýšení
$\delta_{Q,lim}$ [mm]	limitní hodnota průhybu od nahodilého zatížení
$\delta_{Q,max}$ [mm]	maximální průhyb od nahodilého zatížení
$\delta_{vod,lim}$ [mm]	limitní hodnota vodorovného posunu horního styčnicku rámu
$\delta_{vod,max}$ [mm]	maximální vodorovný posun horního styčnicku rámu
$\varepsilon$ [-]	poměrné přetvoření
$\zeta_g$ [-]	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$\eta$ [-]	součinitel
$\lambda_1$ [-]	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti
$\lambda_{LT}$ [-]	poměrná štíhlost při klopení
$\lambda_y$ [-]	štíhlost k ose y
$\lambda_z$ [-]	štíhlost k ose z

$\lambda$ [-]	poměrná štíhlost pro vybočení v rovině
$\lambda_w$ [-]	štíhlost
$\lambda_y$ [-]	poměrná štíhlost k ose y
$\lambda_z$ [-]	poměrná štíhlost k ose z
$\mu$ [-]	součinitel tření mezi betonem a ocelí
$\mu_1$ [-]	tvarový součinitel
$\mu_2$ [-]	tvarový součinitel
$\mu_{cr}$ [-]	bezrozměrný kritický moment
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	hustota vzduchu
$\rho_{ad}$ [-]	redukční součinitel pro výpočet snížené návrhové únosnosti v ohybu v důsledku smykové síly
$\rho_{bd}$ [-]	redukční součinitel pro výpočet snížené návrhové únosnosti v ohybu v důsledku smykové síly
$\rho_I$ [-]	stupeň vyztužení podélnou výztuží
$\sigma_{0,Ed}$ [MPa]	největší tlakové napětí v pásu ve styčnicku
$\sigma_2$ [MPa]	napětí v bodě 2 - horní vlákna průřezu ocelové patky
$\sigma_a$ [MPa]	napětí v krajních vláknech ocelového nosníku
$\sigma_c$ [MPa]	napětí v krajních vláknech betonové desky
$\sigma_D$ [MPa]	největší dovolené napětí v základové spáře
$\sigma_{h,max}$ [MPa]	maximální normálové napětí v horních vláknech ocelové patky
$\sigma_{h,max,celk}$ [MPa]	výsledné napětí při kombinaci ohybu a smyku
$\sigma_{\perp}$ [MPa]	normálové napětí kolmé na osu svaru
$\sigma_{skut}$ [MPa]	skutečná napětí pod základovou spárou
$\sigma_{výsledné}$ [MPa]	výsledné napětí ve svaru
$\sigma_{we}$ [MPa]	normálové napětí ve svaru
$\tau_I$ [MPa]	smykové napětí rovnoběžné s osou svaru
$\tau_{\perp}$ [MPa]	smykové napětí kolmé na osu svaru
$\tau_{max}$ [MPa]	maximální smykové napětí v horních vláknech ocelové patky
$\varphi_1$ [°]	úhel mezi diagonálou D1 a spodním pásem SP
$\varphi_2$ [°]	úhel mezi diagonálou D2 a spodním pásem SP
$\varphi_3$ [°]	úhel mezi svislicí V1 a spodním pásem SP
$\varphi_{LT}$ [-]	hodnota pro výpočet součinitele klopení $\chi_{LT}$
$\varphi_y$ [-]	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y

$\varphi_z$ [-]	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z
$\chi_{LT}$ [-]	součinitel klopení
$\chi_{\min}$ [-]	minimální součinitel vzpěrnosti
$\chi_w$ [-]	součinitel příspěvku stojiny k únosnosti v boulení při smyku
$\chi_y$ [-]	součinitel vzpěrnosti k ose y
$\chi_z$ [-]	součinitel vzpěrnosti k ose z
$\varnothing$ [mm]	navržený profil nosné výztuže
$\varnothing_{tr}$ [mm]	navržený profil třmínku

## 1. Úvod

### 1.1. Halové stavby

Halové stavby byly již od pradávna předmětem snah stavitelů. Již při stavbě prvních obydlí Slovanů a Keltů na našem území, sloužících jako ochrana před povětrnostními vlivy a predátory, stejně jako místo pro život rodiny či kmene, můžeme hovořit o halových objektech, převážně jednolodních. Postupem času se funkce obydlí přesunula do sofistikovanější formy staveb, které lépe vystihovaly potřeby člověka. Halové stavby ale díky svým přednostem (velký otevřený prostor, jednoduchá a rychlá konstrukce) nadále plnily funkci skladovací a živočišnou (chov hospodářských zvířat). Postupem času se halové stavby začaly využívat také k účelům průmyslovým (výrobní haly), sportovním, obchodním a jiným.

Jedním z hlavních ukazatelů ovlivňujícího náklady na stavbu haly, který na rozdíl od povětrnostní situace daného místa, nadmořské výšky a konfigurace terénu, můžeme ovlivnit, je volba vhodného materiálu. Základní rozdělení lze provést na haly dřevěné (stěny dřevěné nebo zděné a dřevěná konstrukce zastřešení) – běžné použití pro rozpon do 18 metrů, betonové – běžné použití pro rozpon od 12 do 18 metrů, a ocelové – běžné použití od 12 metrů výše. Pokud v celkových nákladech na stavbu haly zohledníme také rychlost výstavby, recyklovatelnost materiálu a náklady na budoucí demolici (byť jejich predikce je komplikovaná), stejně jako únosnost u větších rozponů, mají ocelové haly přednost před halami z ostatních materiálů.

Při návrhu haly je třeba zohlednit požadavky na trvanlivost haly (povrchová úprava oceli z hlediska koroze, ochrana proti požáru), stejně jako požadavky na vnitřní prostředí haly (skladovací hala, výrobní hala, hala s vestavěným patrem administrativy). Ve většině případů stačí běžná ochrana ocelových konstrukcí proti korozi a volí se převážně z estetických důvodů. Z požárního hlediska je evakuace osob většinou rychlá a není vyžadována větší požární odolnost, pokud se nepředpokládá v případě požáru také vyklizení haly z důvodu přesunu nákladných technologických zařízení (které umožňují přepravu v relativně krátkém čase nepřesahujícím několik desítek minut) nebo vzácného skladovaného materiálu.

Zatížení, které na halové stavby působí, můžeme rozdělit do několika kategorií. V první řadě se jedná o zatížení stálé, vyvozené vlastní hmotností nosné konstrukce, střešní konstrukce a obvodového pláště.

Dalším zatížením, které neodmyslitelně patří k halovým stavbám tak, jak jsou všeobecně vnímány, patří zatížení jeřáby. Pokud je hala vybavena jeřábovou dráhou, je nosná konstrukce



vystavena opakovanému a dynamickému (zaváděnému pomocí dynamického součinitele) zatížení, které působí vodorovně i svisle. V případě jeřábových drah je třeba nosnou konstrukci posoudit také na únavu.

Zatížení sněhem je dáno povětrnostní oblastí, ve které je hala umístěna, a dále tvarem a členitostí střešní konstrukce, včetně konstrukcí, které vystupují nad rovinu střechy (například světlíky, střešní nástavby).

Zatížení větrem je způsobeno tlakem větru na povrch obvodového a střešního pláště haly. Výchozí hodnotou je základní rychlost větru získaná z mapy větrných oblastí, a tím pádem také tlak větru. Rozhodujícím pro výsledné účinky tlaku větru je výška a tvar objektu, včetně střešní roviny.

Blíže nespecifikované zatížení, takzvané ostatní, je vyvozeno například technologickými celky a provozními zařízeními, které jsou nezbytné pro to, aby daná hala mohla sloužit svému účelu. Mezi takovéto zatížení patří mimo jiné také osvětlení, energetické rozvody, vzduchotechnická a protipožární zařízení. Pokud nejsou překročeny mezní hodnoty dilatačních celků, lze zanedbat účinky teploty.

Samostatnou složku zatížení tvoří imperfekce soustavy. Součástí globální analýzy soustavy musí být zahrnuty i imperfekce soustavy v podobě naklonění sloupů, které se ve výpočtech nahrazuje ekvivalentními vodorovnými silami působícími v úrovni každého podlaží.

## **1.2.Ocelobetonové konstrukce**

Konstrukce z oceli se vyznačují velkou únosností ve vztahu ke své hmotnosti, ale v některých případech může být nedostatkem jejich nedostačující tuhost. Naproti tomu konstrukce z betonu jsou vesměs tuhé, ale z důvodu nízké pevnosti v tahu musí být doplňovány výztuží, která tahová namáhání přenesou a s betonem se v tahu dále nepočítá. Betonové konstrukce se současně vyznačují lepší požární odolností bez použití speciálních protipožárních opatření. Pokud vhodným způsobem zkombinujeme ocelové a betonové konstrukce, vytvoříme ocelobetonovou konstrukci, u které můžeme vhodným návrhem vyzdvihnout přednosti jednotlivých materiálů a eliminovat jejich slabé stránky.

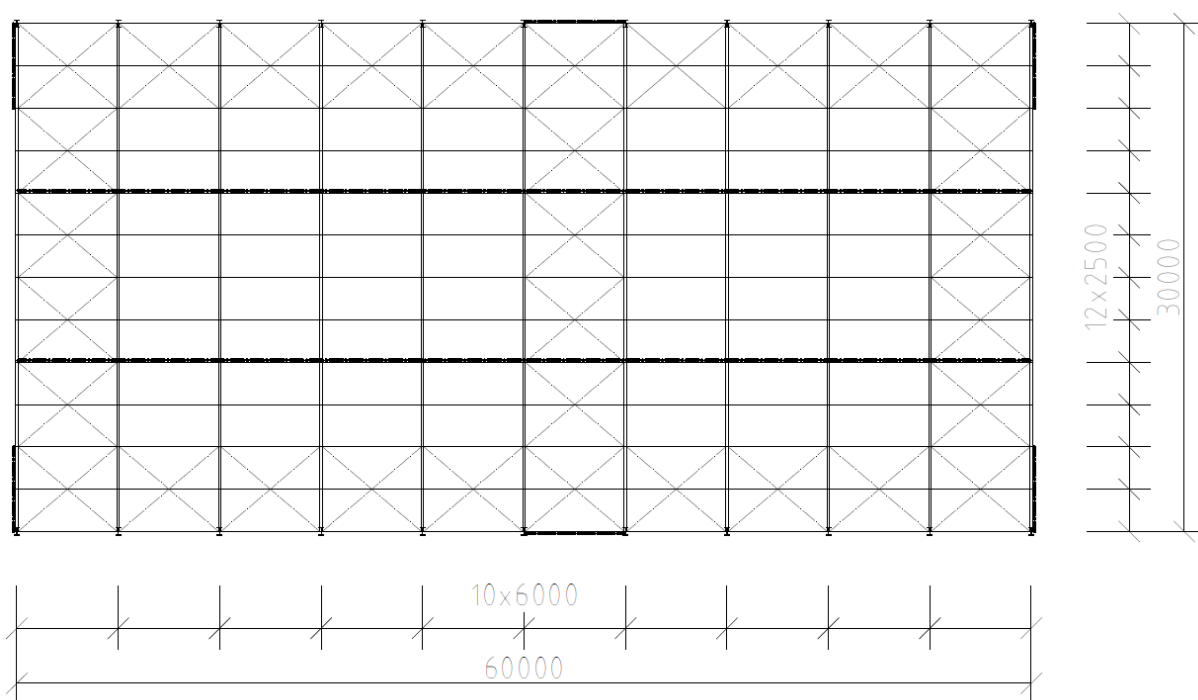
Samostatnou kategorií jsou pak plechobetonové desky, tedy kombinace betonové konstrukce a profilovaného plechu. Profilovaný plech přenáší zatížení při betonáži betonové desky a po zatvrdnutí betonu působí jako částečná nebo úplná výztuž spřažené desky. Tento předpoklad je zajištěn, pokud je profilovaný plech plně nebo částečně spřažen s betonovou deskou.

Za tímto účelem (pro dosažení dané premisy) se používá několik základních typů spřažení plechobetonových desek. Jedná se o mechanické spojení (povrch profilovaného plechu je navrhnut tak, aby zajistil požadovaný stupeň spřažení), třecí spojení (k zajištění daného typu spřažení jsou používány speciální samosvorné plechy) a v neposlední řadě spřažení pomocí koncových trnů (tento typ spřažení není vhodný pro větší rozpony). V praxi mnohdy nastává situace, že speciální profilované plechy nejsou k dostání, nebo je otázka jejich dostupnosti podmíněna časem a cenou. Z toho důvodu se plechobetonové desky většinou navrhují nespřažené, to znamená, že profilovaný plech slouží jako ztracené bednění během betonáže a následně při běžném užívání přenáší zatížení již jen betonová deska.

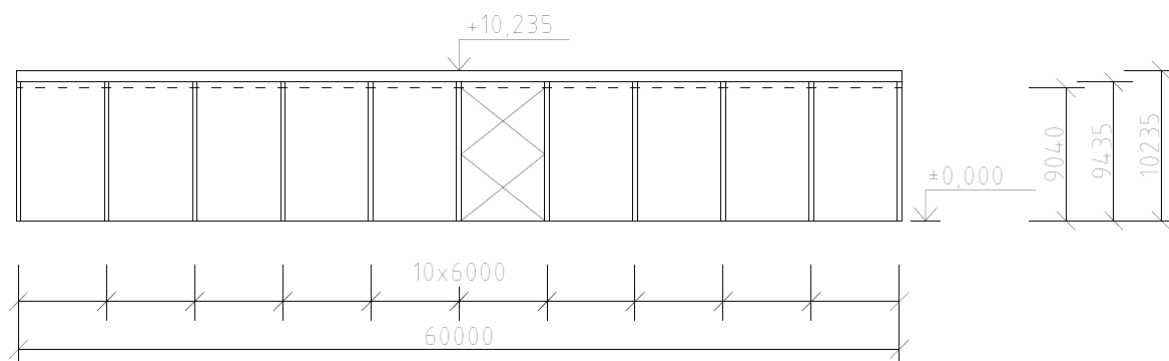
## 2. Návrh

Předmětem diplomové práce je jednolodní ocelová hala s vestavěnou administrativní částí. Hala je navržena délky 60,0 m a šířky 30,0 m (rozměry jsou uvedeny bez obvodového pláště jako osová vzdálenost vnějších nosných konstrukcí – sloupů), zastřešena "sedlovou" střechou se spádem 5 % a hřebenem rovnoběžným s podélnou osou haly (dle termínů pozemního stavitelství se jedná o střechu plochou). Střešní plášť je navržen ve dvou variantách - s vaznicemi a jako bezvaznicový. Obě varianty jsou dále vyhodnoceny a je zvolena vhodnější varianta s ohledem na hlavní nosný systém příčných vazeb a efektivitu návrhu. Příčné vazby jsou navrženy ve dvou nosných variantách, a to jako plné dvoukloubové rámy s osovou vzdáleností příčných vazeb 6,0 m a jako příhradový vazník uložený na vetknutých sloupech s osovou vzdáleností příčných vazeb 6,0 m. Předmětem návrhu je také ocelobetonový strop administrativní části nad 1.NP, který je navržen také ve dvou nosných variantách, a to jako ocelobetonový strop tvořený stropnicemi a průvlaky a ve druhé variantě jako plechobetonový strop bez stropnic, jen s průvlaky. Hala je zateplená. Uliční fasáda je navržena jako prosklená (není předmětem návrhu), zbývající obvodový plášť, stejně jako střešní plášť, je navržen z tenkostěnných profilů a trapézového plechu. Lokalita, ve které je hala navržena, leží v České republice ve městě Ostrava, ve II. sněhové oblasti, v oblasti pravidelně pokryté vegetací a budovami se základní rychlostí větru  $25 \text{ ms}^{-1}$  v nadmořské výšce 290 m n/m.

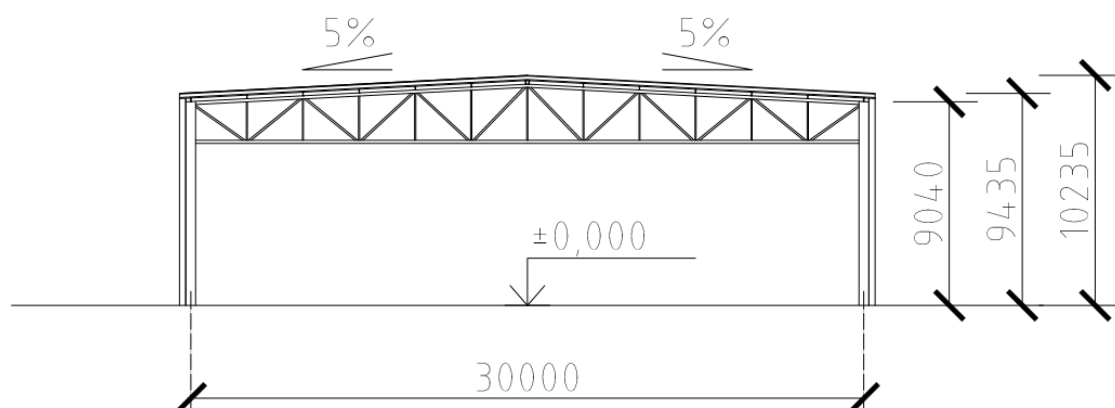
*Obrázek 1 Schematický půdorys nosné kce haly*



Obrázek 2 Schematický boční pohled na nosnou kci haly



Obrázek 3 Schematický příčný řez nosnou kci haly (bez vloženého patra)



Statický výpočet byl proveden podle následujících eurokódů při použití vzorců a vztahů v nich uvedených:

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí (část 1-1 - objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, 1-3 - zatížení sněhem, 1-4 - zatížení větrem)

ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí (část 1-1 – obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)

ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí (část 1-1 - obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 1-5 - boulení stěn, 1-8 - navrhování styčníků)

ČSN EN 1994 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí (část 1-1 - obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)

Pro návrh nosného systému haly a posouzení jednotlivých nosných částí jsou použity základní rozměry navržené haly:

$H_{\text{celk}}$ [m]	10,235	celková výška haly
$H$ [m]	9,435	výška haly k okapu
$B$ [m]	31	šířka haly včetně obvodového pláště
$B1$ [m]	30	rozpětí haly (osa sloupů)
$B2$ [m]	7,5	vzdálenost podélných vazeb (osa sloupů)
$L$ [m]	61	délka haly včetně obvodového pláště
$L1$ [m]	60	rozpětí haly (osa sloupů)
$L2$ [m]	6	vzdálenost příčných vazeb (osa sloupů)
$\alpha$ [°]	2,945	sklon střešní roviny
$\alpha$ [%]	5	sklon střešní roviny

V následujícím textu jsou vždy uvedeny vztahy, podle kterých je prováděn výpočet a za nimi je uveden výpočet samotný, aby byl celý postup přehledný a kontrolovatelný.

Jako materiál nosné konstrukce byla zvolena konstrukční ocel vhodná pro svařované ocelové konstrukce, a to S355J0, tedy tvářená ocel s napětím na mezi kluzu 355 MPa a hodnotou nárazové práce v rozsahu 27 J při teplotě 0° C.

### 3. Zatížení

Zatížení jednotlivých prvků při montáži, stejně jako konkrétní složky zatížení provozního na ně působící, jsou uvedeny vždy na začátku posuzování daného prvku, aby byla zachována přehlednost a snadná kontrolovatelnost. V této kapitole jsou stynoveny základní účinky zatížení užitého, zatížení sněhem a zatížení větrem, působící na předmětnou stavbu haly.

#### Zatížení užité

	H	kategorie střechy
$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,750	charakteristická hodnota užitého zatížení

#### Zatížení sněhem

$s_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,000	charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi
$C_e$ [-]	1,000	součinitel expozice
$C_t$ [-]	1,000	tepelný součinitel
$\mu_1$ [-]	0,800	tvárový součinitel
$\mu_2$ [-]	0,879	tvárový součinitel
$s_{k,1}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,800	charakteristická hodnota zatížení pro rovnoměrný sníh
$s_{k,2}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,400	charakteristická hodnota zatížení pro nerovnoměrný sníh

#### Zatížení větrem

##### Povětrnostní podmínky:

$v_{b,0}$ [m/s]	25,000	výchozí základní rychlost větru
$c_{dir}$ [-]	1,000	součinitel směru větru (pro běžné případy 1)
$c_{season}$ [-]	1,000	součinitel ročního období (pro běžné případy 1)
$v_b$ [m/s]	25,000	základní rychlost větru

##### Místní vlivy:

$h$ [m]	10,235	celková výška objektu
$z_e$ [m]	10,235	referenční výška (rovna $h$ )
$z_i$ [m]	10,235	referenční výška (konzervativně rovna $h$ )
$z_0$ [m]	0,300	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$ [m]	0,050	
$z_{min}$ [m]	5,000	minimální výška
$z$ [m]	10,235	

$k_r [-]$	0,215	součinitel terénu
$c_r(z) [-]$	0,760	součinitel drsnosti terénu
$c_o(z) [-]$	1,000	součinitel ortografie (většinou 1)
$v_m(z) [m/s]$	19,007	charakteristická střední rychlost větru

**Charakteristický maximální dynamický tlak větru:**

$k_l [-]$	1,000	součinitel turbulence (většinou 1)
$I_v(z) [-]$	0,283	intenzita turbulence
$\rho [kg/m^3]$	1,250	hustota vzduchu
$q_p(z) [kN/m^2]$	0,674	charakteristický maximální dynamický tlak

**Součinitelé vnějšího tlaku - ploché střechy, příčný vítr:**

$h [m]$	10,235	celková výška objektu
$b [m]$	61,000	rozměr kolmý na směr proudění
$d [m]$	31,000	rozměr rovnoběžný se směrem proudění
$e [m]$	20,470	rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení
$e/10 [m]$	2,047	
$e/4 [m]$	5,118	
$e/2 [m]$	10,235	
POUŽÍJI $C_{pe,10}$		volba součinitelů vnějších tlaků
$C_{pe}^F [-]$	-1,8	hodnota součinitele tlaku pro oblast F
$C_{pe}^G [-]$	-1,2	hodnota součinitele tlaku pro oblast G
$C_{pe}^H [-]$	-0,7	hodnota součinitele tlaku pro oblast H
$C_{pe}^I [-]$	-0,2	hodnota součinitele tlaku pro oblast I
$C_{pe}^{I+} [-]$	0,2	hodnota součinitele tlaku pro oblast I

**Součinitelé vnějšího tlaku - ploché střechy, podélný vítr:**

$h [m]$	10,235	celková výška objektu
$b [m]$	31,000	rozměr kolmý na směr proudění
$d [m]$	61,000	rozměr rovnoběžný se směrem proudění
$e [m]$	20,470	rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení
$e/10 [m]$	2,047	
$e/4 [m]$	5,118	
$e/2 [m]$	10,235	
POUŽÍJI $C_{pe,10}$		volba součinitelů vnějších tlaků (plocha vystavená větru je $> 10 m^2$ )

$C_{pe}^{F-} [-]$	-1,8	hodnota součinitele tlaku pro oblast F
$C_{pe}^{G-} [-]$	-1,2	hodnota součinitele tlaku pro oblast G
$C_{pe}^{H-} [-]$	-0,7	hodnota součinitele tlaku pro oblast H
$C_{pe}^{I-} [-]$	-0,2	hodnota součinitele tlaku pro oblast I
$C_{pe}^{I+} [-]$	0,2	hodnota součinitele tlaku pro oblast I

### **Součinitelé vnitřního tlaku - ploché střechy:**

V obvodovém plášti haly se budou nacházet otevíratelné prvky (dveře), proto musíme uvažovat s vlivem vnitřního tlaku.

$C_{pi}^{+} [-]$	0,2	hodnota součinitele tlaku (přetlak)
$C_{pi}^{-} [-]$	-0,3	hodnota součinitele tlaku (podtlak)

### **Výsledné tlaky větru na střešní plášť - příčný vítr - pro $C_{pi}^{+} = 0,2$ :**

$w_k^{F-} [kN/m^2]$	-1,347	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F
$w_k^{G-} [kN/m^2]$	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G
$w_k^{H-} [kN/m^2]$	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H
$w_k^{I-} [kN/m^2]$	-0,269	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_k^{I+} [kN/m^2]$	0,000	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

### **Výsledné tlaky větru na střešní plášť - příčný vítr - pro $C_{pi}^{-} = -0,3$ :**

$w_k^{F-} [kN/m^2]$	-1,010	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F
$w_k^{G-} [kN/m^2]$	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G
$w_k^{H-} [kN/m^2]$	-0,269	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H
$w_k^{I-} [kN/m^2]$	0,067	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_k^{I+} [kN/m^2]$	0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

### **Výsledné tlaky větru na střešní plášť - podélný vítr - pro $C_{pi}^{+} = 0,2$ :**

$w_k^{F-} [kN/m^2]$	-1,347	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F
$w_k^{G-} [kN/m^2]$	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G
$w_k^{H-} [kN/m^2]$	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H
$w_k^{I-} [kN/m^2]$	-0,269	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_k^{I+} [kN/m^2]$	0,000	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

### **Výsledné tlaky větru na střešní plášť - podélný vítr - pro $C_{pi}^{-} = -0,3$ :**

$w_k^{F-} [kN/m^2]$	-1,010	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F
---------------------	--------	---



$w_k^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G
$w_k^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,269	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H
$w_k^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,067	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_k^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

### Maximální hodnota zatížení větrem - ploché střechy:

$w_{k,MIN}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,347
$w_{k,MAX}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,337

### Součinitelé vnějšího tlaku - svislé stěny, příčný vítr:

$h$ [m]	10,235	výška stěny rovnoběžné se směrem proudění
$b$ [m]	61,000	rozměr kolmý na směr proudění
$d$ [m]	31,000	rozměr rovnoběžný se směrem proudění
$e$ [m]	20,470	rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení
$e/5$ [m]	4,094	
$4*e/5$ [m]	16,376	
$d-e$ [m]	10,530	
$h/d$ [-]	0,330	
$C_{pe}^{A-}$ [-]	-1,200	hodnota součinitele tlaku pro oblast A
$C_{pe}^{B-}$ [-]	-0,800	hodnota součinitele tlaku pro oblast B
$C_{pe}^{C-}$ [-]	-0,500	hodnota součinitele tlaku pro oblast C
$C_{pe}^{D+}$ [-]	0,716	hodnota součinitele tlaku pro oblast D
$C_{pe}^{E-}$ [-]	-0,333	hodnota součinitele tlaku pro oblast E

### Součinitelé vnějšího tlaku - svislé stěny, podélný vítr:

$h$ [m]	9,435	výška stěny rovnoběžné se směrem proudění
$b$ [m]	31,000	rozměr kolmý na směr proudění
$d$ [m]	61,000	rozměr rovnoběžný se směrem proudění
$e$ [m]	18,870	rozměr potřebný ke stanovení oblastí zatížení
$e/5$ [m]	3,774	
$4*e/5$ [m]	15,096	
$d-e$ [m]	42,130	
$h/d$ [-]	0,155	volba součinitelů vnějších tlaků
$C_{pe}^{A-}$ [-]	-1,200	hodnota součinitele tlaku pro oblast A
$C_{pe}^{B-}$ [-]	-0,800	hodnota součinitele tlaku pro oblast B

$C_{pe}^C [-]$	-0,500	hodnota součinitele tlaku pro oblast C
$C_{pe}^{D+} [-]$	0,700	hodnota součinitele tlaku pro oblast D
$C_{pe}^{E-} [-]$	-0,300	hodnota součinitele tlaku pro oblast E

**Součinitelé vnitřního tlaku - svislé stěny:**

$C_{pi}^+ [-]$	0,2	hodnota součinitele tlaku (přetlak)
$C_{pi}^- [-]$	-0,3	hodnota součinitele tlaku (podtlak)

**Výsledné tlaky větru na stěnu - příčný vítr - pro  $C_{pi}^+ = 0,2$ :**

$w_k^{A-} [kN/m^2]$	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_k^{B-} [kN/m^2]$	-0,674	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_k^{C-} [kN/m^2]$	-0,471	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_k^{D+} [kN/m^2]$	0,348	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D
$w_k^{E-} [kN/m^2]$	-0,359	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

**Výsledné tlaky větru na stěnu - příčný vítr - pro  $C_{pi}^- = -0,3$ :**

$w_k^{A-} [kN/m^2]$	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_k^{B-} [kN/m^2]$	-0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_k^{C-} [kN/m^2]$	-0,135	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_k^{D+} [kN/m^2]$	0,685	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D
$w_k^{E-} [kN/m^2]$	-0,022	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

**Výsledné tlaky větru na stěnu - podélný vítr - pro  $C_{pi}^+ = 0,2$ :**

$w_k^{A-} [kN/m^2]$	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_k^{B-} [kN/m^2]$	-0,674	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_k^{C-} [kN/m^2]$	-0,471	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_k^{D+} [kN/m^2]$	0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D
$w_k^{E-} [kN/m^2]$	-0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

**Výsledné tlaky větru na stěnu - podélný vítr - pro  $C_{pi}^- = -0,3$ :**

$w_k^{A-} [kN/m^2]$	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_k^{B-} [kN/m^2]$	-0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_k^{C-} [kN/m^2]$	-0,135	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_k^{D+} [kN/m^2]$	0,674	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast D
$w_k^{E-} [kN/m^2]$	0,000	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast E

## 4. Střešní plášť

Střešní plášť je tvořen spodním a horním trapézovým plechem a tepelnou izolací (minerální vlna ISOVER LAM30, tloušťka 150 mm, objemová tíha cca  $1 \text{ kN/m}^3$ , tj.  $g_{\text{izol}} = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ kN/m}^2$ ). Podpory horního střešního pláště tvoří distanční Z profily s roztečemi 2,0 m. Vzhledem k šířce střechy (jedné poloviny střechy, tj. 15,55 m) uvažujeme statické schéma jako spojitý nosník o více polích. Spodní trapézový plech slouží jako nosná konstrukce pro rozvody technologie (VZT, kabelové rozvody, osvětlení, protipožární opatření, apod.,  $g_{\text{vzt}} = 0,5 \text{ kN/m}^2$ ). Posouzení trapézových plechů dodávaných firmou kovové profily ([www.kovprof.cz](http://www.kovprof.cz)) bude provedeno dle tabulek výrobce, zpracovaných dle platných norem. Druhou variantou střešního pláště je bezvaznicový systém, kdy je spodní trapézový plech uložen na nosníky příčné vazby s vlnami kolmo k těmto nosníkům. Z důvodu přenosu zatížení mezi horním a dolním trapézovým plechem budou distanční profily osazeny koso pod úhlem  $45^\circ$  s roztečemi 2,0 m. Gravitační zatížení lze sice zjednodušit na plnoplošný přenos, ale v případě zatížení větrem (sání) je zatížení z horního trapézového plechu přenášeno na spodní trapézový plech pouze distančními profily. Při zvoleném řešení lze statické schéma zjednodušit na plnoplošný přenos se zanedbatelnými lokálními účiny. Využití únosnosti jednotlivých trapézových plechů v mezním stavu únosnosti je vždy navrženo menší než 80 %, což poskytuje dostatečnou rezervu pro uplatnění výše uvedeného postupu.

### Zatížení - stálá

$g_{\text{izol}} [\text{kN/m}^2]$	0,15 tepelná izolace střechy
$g_{\text{vzt}} [\text{kN/m}^2]$	0,5 rozvody technologie zavěšené na spodní trapézový plech

### 4.1. Střešní plášť s vaznicemi

#### Horní trapézový plech TR 35/207/0,63 - negativní poloha

$t [\text{mm}]$	0,630 tloušťka trapézového plechu
$g_{\text{h,plech}} [\text{kg/m}^2]$	6,090 hmotnost trapézového plechu
$\bar{s} [\text{mm}]$	1000,000 šířka trapézového plechu
$a [\text{m}]$	2,000 rozpětí podpor spojitého nosníku
$q_{\text{Rd, neg}} [\text{kN/m}^2]$	2,880 MSÚ pro gravitační zatížení
$q_{\text{Rd, poz}} [\text{kN/m}^2]$	3,020 MSÚ pro zatížení větrem - sání
$q_{\text{Rk, neg}} [\text{kN/m}^2]$	2,320 MSP pro gravitační zatížení ( $L/200$ )
(šířka vnitřní podpory $\geq 60 \text{ mm}$ , šířka krajní podpory $\geq 40 \text{ mm}$ )	

**Zatížení horního trapézového plechu**

$q_{Ek,neg}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,861	$g_{h,plech} / 100 + s_{k,1}$
$q_{Ed,neg}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,282	$g_{h,plech} / 100 * 1,35 + s_{k,1} * 1,5$
$q_{Ed,poz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,960	$g_{h,plech} / 100 * 1,0 + w_k^{F-} * 1,5$

**Posouzení**

$q_{Ek,neg} \leq q_{Rk,neg}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSP pro gravitační zatížení (L/200)
$q_{Ed,neg} \leq q_{Rd,neg}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSÚ pro gravitační zatížení
$q_{Ed,poz} \leq q_{Rd,poz}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSÚ pro zatížení větrem - sání

**Využití únosnosti horního trapézového plechu [%]**

$q_{Ek,neg} / q_{Rk,neg}$	37,108
$q_{Ed,neg} / q_{Rd,neg}$	44,521
$q_{Ed,poz} / q_{Rd,poz}$	64,893

**Spodní trapézový plech TR 50/250/0,75 - pozitivní poloha**

$t$ [mm]	0,750	tloušťka trapézového plechu
$g_{s,plech}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	7,500	hmotnost trapézového plechu
$\bar{s}$ [mm]	1000,000	šířka trapézového plechu
$a$ [m]	2,500	rozpětí podpor spojitého nosníku
$q_{Rd,neg}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,940	MSÚ pro zatížení větrem - sání
$q_{Rd,poz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	3,060	MSÚ pro gravitační zatížení
$q_{Rk,poz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,080	MSP pro gravitační zatížení (L/200)
(šířka vnitřní podpory $\geq 80$ mm, šířka krajní podpory $\geq 40$ mm)		

**Zatížení spodního trapézového plechu**

$q_{Ek,poz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,586	$g_{h,plech} / 100 + g_{s,plech} / 100 + g_{izol} + g_{vzt} + s_{k,1}$
$q_{Ed,poz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,261	$(g_{h,plech} / 100 + g_{s,plech} / 100 + g_{izol} + g_{vzt}) * 1,35 + s_{k,1} + 1,5$
$q_{Ed,neg}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,735	$(g_{h,plech} / 100 + g_{s,plech} / 100 + g_{izol}) * 1,0 + w_k^{F-} * 1,5$

**Posouzení**

$q_{Ek,poz} \leq q_{Rk,poz}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSP pro gravitační zatížení (L/200)
$q_{Ed,poz} \leq q_{Rd,poz}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSÚ pro gravitační zatížení
$q_{Ed,neg} \leq q_{Rd,neg}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSÚ pro zatížení větrem - sání

**Využití únosnosti spodního trapézového plechu [%]**

$q_{Ek,poz} / q_{Rk,poz}$	76,245
$q_{Ed,poz} / q_{Rd,poz}$	73,888
$q_{Ed,neg} / q_{Rd,neg}$	59,006

**Charakteristická hodnota stálého zatížení střechy**

$g_{střecha,k} [kN/m^2]$	0,786
--------------------------	-------

**4.2. Střešní plášť bezvaznicový**

Horní trapézový plech je namáhán stejně jako v případě střešního pláště s vaznicemi. Spodní trapézový plech je ale třeba navrhnout a posoudit. Trapézový plech je uložen jako prostý nosník se vzdáleností podpor 6,0 m. Pro zajištění přenosu sil z horního do spodního trapézového plechu bylo nutné navrhnout distanční profily mezi plechy na koso pod úhlem 45°, což dělá montáž složitější a náročnější na kontrolu provádění.

**Spodní trapézový plech TR 135/310/1,5 - pozitivní poloha**

$t [mm]$	1,500	tloušťka trapézového plechu
$g_{s,plech} [kg/m^2]$	19,350	hmotnost trapézového plechu
$š [mm]$	1000,000	šířka trapézového plechu
$a [m]$	6,000	rozpětí podpor prostého nosníku
$q_{Rd,neg} [kN/m^2]$	4,980	MSÚ pro zatížení větrem - sání
$q_{Rd,poz} [kN/m^2]$	4,670	MSÚ pro gravitační zatížení
$q_{Rk,poz} [kN/m^2]$	1,910	MSP pro gravitační zatížení (L/200)
(šířka podpory min. 40 mm)		

**Zatížení spodního trapézového plechu**

$q_{Ek,poz} [kN/m^2]$	1,704	$g_{h,plech} / 100 + g_{s,plech} / 100 + g_{izol} + g_{vzt} + s_{k,1}$
$q_{Ed,poz} [kN/m^2]$	2,421	$(g_{h,plech} / 100 + g_{s,plech} / 100 + g_{izol} + g_{vzt}) * 1,35 + s_{k,1} + 1,5$
$q_{Ed,neg} [kN/m^2]$	1,616	$(g_{h,plech} / 100 + g_{s,plech} / 100 + g_{izol}) * 1,0 + w_k^{F-} * 1,5$

**Posouzení**

$q_{Ek,poz} \leq q_{Rk,poz}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSP pro gravitační zatížení (L/200)
$q_{Ed,poz} \leq q_{Rd,poz}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSÚ pro gravitační zatížení
$q_{Ed,neg} \leq q_{Rd,neg}$	<b>VYHOVUJE</b>	MSÚ pro zatížení větrem - sání

**Využití únosnosti spodního trapézového plechu [%]**

$q_{Ek,poz} / q_{Rk,poz}$	89,236
$q_{Ed,poz} / q_{Rd,poz}$	51,840
$q_{Ed,neg} / q_{Rd,neg}$	32,455

**Charakteristická hodnota stálého zatížení střechy**

$$g_{střecha,k} [kN/m^2] \quad 0,904$$

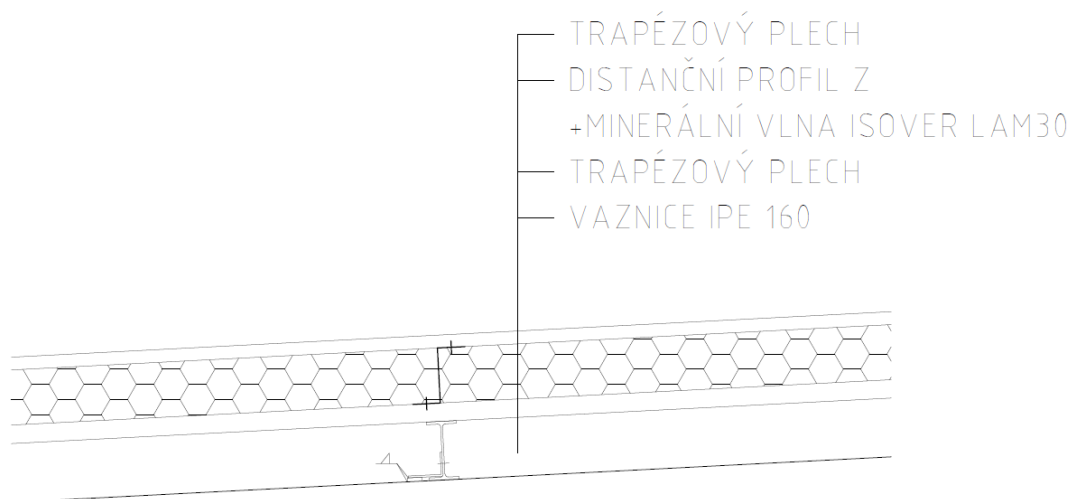
**4.3. Vyhodnocení variant střešního pláště**

Střešní plášť bezvaznicový má ve výsledku menší skladebnou výšku i přes vyšší trapézový plech z důvodu absence vaznic. Vzhledem ke zvolené variantě hlavního nosného systému, viz. dále, kterým je příhradový vazník, je vhodnější, aby bylo zatížení ze střešního pláště přenášeno přímo do styčníků příhradového nosníku a nebyl hodní pás příhradového vazníku namáhán i mezi styčníky a nebyl horní pás namáhán ohybovým momentem (ohybový moment od vlastní tíhy zanedbáváme). Střešní plášť bezvaznicový je tedy vhodnější pro rámové konstrukce a plnostěnné nosníky, kde je rovnoměrné zatížení výhodnější pro namáhání daného nosníku, na rozdíl od bodového zatížení a skokových změn v účincích zatížení. Střešní plášť s vaznicemi je tedy vhodnější pro použití v kombinaci s příhradovými vazníky. Výsledná zvolená varianta je střešní plášť s vaznicemi.

## 5. Vaznice

Střešní plášť je dostatečně tuhý, a proto bude zatížení působící rovnoběžně s rovinou střechy přenášet okapová vaznice. Mezilehlá vaznice bude přenášet jen zatížení kolmé k rovině střechy. Vzhledem ke vzdálenosti podpor ( $L = 6,0$  m) je navržena plnostěnná vaznice profilu IPE, která bude působit jako spojitý nosník o dvou polích. Vaznice jsou rozděleny na sudé a liché řady, aby byly šachovnicově prostřídány krajní podpory spojitého nosníku o dvou polích a byla tím zajištěna větší prostorová tuhost. Každá sudá řada bude začínat zesílenou vaznicí působící jako prostý nosník. S využitím jiného statického návrhu, např. Gerberův nosník o více polích a zesílením profilu v krajních polích, bychom dosáhli menších ohybových momentů, ale obdobných průhybů při použití náročnějších spojů, a tedy vyšší pracnosti. Alternativně by bylo možné navrhnout vaznici z tenkostěnného profilu Z (v praxi vychází daný návrh úsporněji, s ohledem na hmotnost použité oceli), ale dané tenkostěnné profily se posuzují většinou podle tabulek výrobce, proto byl ze studijních důvodů zvolen návrh vaznice profilu IPE. Vaznice bude přenášet síly od vlastní tíhy střešního pláště a od klimatických zatížení (užitné zatížení je menší než zatížení vlivem sněhu) - sníh a vítr.

*Obrázek 4 Schematický řez střešním pláštěm*



Profil vaznice            IPE160

Konstrukční ocel        S355J0

## 5.1. Zatížení

### Stálá

$g_{h,plech}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,061	hmotnost trapézového plechu TR 35/207/0,63
$g_{izol}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,150	tepelná izolace střechy tl. 150 mm
$g_{s,plech}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,075	hmotnost trapézového plechu TR 50/250/0,75
$g_{vzt}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,500	rozvody technologie zavěšené na spodní trapézový plech
$a$ [m]	2,500	šířka zatěžovacího pruhu střechy
$g_{h,plech}$ [kN/m]	0,152	hmotnost trapézového plechu TR 35/207/0,63
$g_{izol}$ [kN/m]	0,375	tepelná izolace střechy
$g_{s,plech}$ [kN/m]	0,188	hmotnost trapézového plechu TR 50/250/0,75
$g_{vzt}$ [kN/m]	1,250	rozvody technologie zavěšené na spodní trapézový plech
$g_{vaznice}$ [kN/m]	0,158	vaznice
$g_{k,celkové}$ [kN/m]	2,123	charakteristická hodnota celkového stálého zatížení ( $g_{h,plech} + g_{izol} + g_{s,plech} + g_{vzt} + g_{vaznice}$ )
$g_{k,min}$ [kN/m]	0,346	charakteristická hodnota minimálního stálého zatížení ( $g_{s,plech} + g_{vaznice}$ )
$g_{d,celkové}$ [kN/m]	2,866	návrhová hodnota celkového stálého zatížení ( $g_{k,celkové} * 1,35$ )
$g_{d,min}$ [kN/m]	0,346	návrhová hodnota minimálního stálého zatížení ( $g_{k,min} * 1,0$ )

### Sníh

$s_{k,11}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,8	charakteristická hodnota zatížení pro rovnoměrný sníh
$s_{k,1}$ [kN/m]	2	charakteristická hodnota zatížení pro rovnoměrný sníh
$s_{d,1}$ [kN/m]	3	návrhová hodnota zatížení pro rovnoměrný sníh ( $s_{k,1} * 1,5$ )

### Vítr

Není možné jednoznačně určit hodnotu součinitele  $\mu$  pro stanovení součinitele vnitřního tlaku, proto budou pro jednotlivé oblasti působení větru na střešní rovinu uvažovány méně příznivé okolnosti. Charakteristické hodnoty tlaku pro jednotlivé oblasti působení větru na střešní rovině  $C_{pe,10}$  jsou v našem případě shodné pro příčný i podélný vítr, proto budou také výsledné charakteristické hodnoty tlaku větru  $w_k$  v těchto oblastech shodné.

$w_k^F$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,347	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F
$w_k^G$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G
$w_k^H$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H



$w_k^I$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,269	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_k^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_d^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-2,021	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast F ( $w_k^{F-} * 1,5$ )
$w_d^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,414	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast G ( $w_k^{G-} * 1,5$ )
$w_d^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,909	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast H ( $w_k^{H-} * 1,5$ )
$w_d^I$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,404	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast I ( $w_k^I * 1,5$ )
$w_d^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,505	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast I ( $w_k^{I+} * 1,5$ )

### Vnitřní síly

Pro výpočet vnitřních sil byl vytvořen model spojitého nosníku o dvou polích v programu SCIA Engineer se dvěma zatěžovacími stavy. První zatěžovací stav, gravitační kombinace, je tvořen vlastní vahou střešní konstrukce a vazníku a zatížením sněhem. Druhý zatěžovací stav, kombinace sání větru, je tvořen minimálním stálým zatížením (vlastní vahou vaznice a spodního trapézového plechu) a zatížením vyvolaným sáním větru dle příslušných větrných oblastí, které vyvozují maximální vnitřní síly. Návrhová hodnota ohybového momentu pro kombinaci sání větru byla stanovena jako moment v poli, kde není tlačena část nosníku zajištěna proti klopení, na rozdíl od vnitřní podpory, kde je tlačena část zajištěna proti klopení spodním trapézovým plechem. Všechny zatěžovací stavy byly sestaveny pro návrhové hodnoty zatížení a první zatěžovací stav (gravitační kombinace) také pro charakteristické hodnoty zatížení z důvodu stanovení maximálního průhybu spojitého nosníku o dvou polích.

$V_{Ed,1}$ [kN]	21,996	návrhová hodnota posouvající síly pro gravitační kombinaci
$V_{Ed,2}$ [kN]	9,950	návrhová hodnota posouvající síly pro kombinaci sání větru
$M_{Ed,1}$ [kN/m]	-26,396	návrhová hodnota ohybového momentu pro gravitační kombinaci
$M_{Ed,2}$ [kN/m]	-8,660	návrhová hodnota ohybového momentu v poli pro kombinaci sání větru
$w_{MAX}$ [mm]	16,100	maximální průhyb vaznice

## 5.2. Návrh vaznice

### Materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku

G [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
A [mm <sup>2</sup> ]	2009	plocha průřezu
A <sub>vz</sub> [mm <sup>2</sup> ]	966	plocha stěny ve smyku
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	8693000	moment setrvačnosti k ose y
I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ]	683100	moment setrvačnosti k ose z
W <sub>el,y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	108700	pružný modul průřezu k ose y
W <sub>pl,y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	123900	plastický modul průřezu k ose y
i <sub>y</sub> [mm]	65,780	poloměr setrvačnosti k ose y
i <sub>z</sub> [mm]	18,440	poloměr setrvačnosti k ose z
I <sub>w</sub> [mm <sup>6</sup> ]	3,96E+09	výsečový moment setrvačnosti
I <sub>t</sub> [mm <sup>4</sup> ]	36000	moment tuhosti v prostém kroucení
h [mm]	160	výška nosníku
b [mm]	82	šířka pásnice
t <sub>w</sub> [mm]	5	tloušťka stojiny
t <sub>f</sub> [mm]	7,4	tloušťka pásnice
r [mm]	9	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
ε [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3

### 5.3. Mezilehlá vaznice

Návrh vaznice byl proveden elastickým výpočtem a nikoliv plastickým. Vzhledem k třídě průřezu vaznice (1) přichází v úvahu také plastický výpočet se vznikem plastického kloubu s rotační kapacitou, ale s ohledem na vyšší míru bezpečnosti nebyl použit.

#### Únosnost ve smyku

Při výpočtu únosnosti ve smyku bylo postupováno dle ČSN EN 1993-1-1 článku 6.2.6. Pro výpočet smykové únosnosti je použita pouze plocha stojiny, která vzdoruje namáhání smykem.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

V <sub>pl,Rd</sub> [kN]	197,991	plastická únosnost ve smyku
V <sub>pl,Rd</sub> ≥ V <sub>Ed</sub>	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku
V <sub>Ed</sub> / V <sub>pl,Rd</sub>	11,11%	využití průřezu
BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU		

**Posouzení vlivu smykového boulení**

$\eta [-]$  1,2 součinitel dle ČSN EN 1993-1-5 národní přílohy NA

**VYHOVUJE** podmínka, za které není třeba posuzovat smykové boulení

**Únosnost v ohybu bez ztráty stability**

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$  [kNm] 43,985 plastická únosnost v ohybu

$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$  **VYHOVUJE** podmínka pro plastickou únosnost v ohybu

$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$  60,01% využití průřezu

**Únosnost v ohybu se ztrátou stability – klopení**

Součinitele vzpěrné délky  $k_y$ ,  $k_z$  (popisující okrajové podmínky uložení v ohybu) a  $k_w$  (popisující okrajové podmínky uložení v kroucení) se mění od 0,5 pro vetknutí obou konců do 1,0 pro kloubové uložení obou konců, s hodnotou 0,7 pro jeden konec vetknutý a jeden konec uložený kloubově. Součinitel  $k_y$  se vztahuje ke koncovému pootočení v rovině kolmé k ose y-y, součinitel  $k_z$  se vztahuje ke koncovému pootočení v rovině kolmé k ose z-z. Tyto součinitele jsou analogické k poměru  $L_{cr}/L$  u tlacených prutů. Součinitel  $k_w$  se vztahuje ke koncové deplanaci. Pokud není provedeno speciální opatření k zamezení deplanace, je možné brát  $k_w = 1,0$ .

Hodnoty  $C_1$ ,  $C_2$  a  $C_3$  jsou dány v ČSN EN 1993-1-1 národní přílohy NB (tab. NB.3.1 a tab. NB.3.2) pro různé případy zatížení, které je definováno průběhem ohybového momentu na délce  $L$  mezi body zajištěnými proti příčnému vybočení. Hodnoty jsou uvedeny v závislosti na součiniteli  $k_z$  a v ČSN EN 1993-1-1 národní přílohy NB (tab. NB.3.2) též na součiniteli  $k_w$ . V praxi je téměř vždy  $k_z = 1,0$ , neboť natočení koncových průřezů okolo osy menší tuhosti není zcela zabráněno (například i v ohybově tuhém přípoji nosníku ke sloupu může dojít k torznímu natočení sloupu, což odpovídá natočení nosníku okolo osy menší tuhosti).

Následující výpočet byl proveden podle níže uvedených vzorců.

$$K_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{L \cdot k_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

Níže uvedený vztah obsahuje v normě ještě člen  $C_3 \cdot \zeta_j$ , který tvoří součinitel  $C_3$  a bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu  $\zeta_j$ . Zatímco součinitel  $C_3$  nabývá vždy číselných hodnot, a to jak kladných tak záporných, bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu  $\zeta_j$  závisí na poloze středu smyku vzhledem k těžišti průřezu.

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right]$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0$$

$$M_{pl,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

h	160	výška nosníku
b	82	šířka nosníku
L [m]	6	délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny
$k_y$ [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
$k_z$ [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
$k_w$ [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v kroucení
$K_{wt}$ [-]	0,280	bezrozměrný parametr kroucení
$z_g$ [mm]	80	vzdálenost působíště zatížení od středu smyku
$\zeta_g$ [-]	0,294	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$C_1$ [-]	1,13	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců
$C_2$ [-]	0,46	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců
$\mu_{cr}$ [-]	1,031	bezrozměrný kritický moment
$M_{cr}$ [Nmm]	11035766	pružný kritický moment při ztrátě příčné a torzní stability

$\lambda_{LT}$ [-]	1,996	poměrná štíhlost při klopení a křivka klopení (tabulka 6.4 ČSN EN 1993-1-1)
$\alpha_{LT}$ [-]	0,21	součinitel imperfekce při klopení (tabulka 6.3 ČSN EN 1993-1-1)
$\varphi_{LT}$ [-]	2,681	hodnota pro výpočet součinitele klopení $\chi_{LT}$
$\chi_{LT}$ [-]	0,224	součinitel klopení
$M_{pl,Rd}$ [kNm]	9,837	plastická únosnost v ohybu se ztrátou stability
$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$	88,04%	využití průřezu

**Mezní stav použitelnosti**

$w_{MAX}$ [mm]	16,1	maximální průhyb vaznice
$w_{LIM}$ [mm]	30	limitní hodnota průhybu dle ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA (L/200)
$w_{LIM} > w_{MAX}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka průhybu

**5.4. Okapová vaznice**

Z konstrukčních důvodů je navržena okapová vaznice stejného profilu jako mezilehlá vaznice. Vaznice bude přenášet zatížení kolmé ke střešní rovině. Okapová vaznice nebude zahrnuta do systému podélných ztužidel a bude tedy namáhána na ohyb, stejně jako mezilehlé vaznice. Na okapovou vaznici působí menší zatížení než na mezilehlou vaznici, a proto ji není třeba samostatně posuzovat – vyhoví.

**5.5. Vrcholová vaznice**

Z konstrukčních důvodů je navržena vrcholová vaznice stejného profilu jako mezilehlá vaznice. Vrcholové vaznice jsou přitíženy svislou složkou zatížení působícího rovnoběžně se střešní rovinou. Svislé přitížení vrcholové vaznice určíme ze zatížení působícího na mezilehlou vaznici. Vrcholová vaznice je zdvojená, a proto bude zatížení přenášené jednou vrcholovou vaznicí poloviční a celkové zatížení (včetně zohlednění přidavného zatížení) bude menší než zatížení mezilehlé vaznice. Navržená vaznice vyhoví a není třeba ji samostatně posuzovat.

**Svislé přetížení**

$$q_{\parallel} = \frac{q_{Ed}}{L} \cdot \sin \alpha$$

$$q_{v,Ed} = 2 \cdot q_{\parallel} \cdot a \cdot \sin \alpha$$

a [m]	15,521	délka jedné strany střechy
L [m]	2,5	zatěžovací šířka mezilehlé vaznice
$\alpha$ [°]	2,945	sklon střešní roviny
$q_{Ed}$ [kN/m]	5,866	zatížení působící na mezilehlou vaznici
$q_{\parallel}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,121	zatížení působící rovnoběžně se střešní rovinou
$q_{v,Ed}$ [kN/m]	0,192	svislé přetížení vrcholových vaznic

**Přenos zatížení působícího rovnoběžně se střešní rovinou**

Zatížení působící rovnoběžně se střešní rovinou se přenáší pomocí plášťového působení střešního trapézového plechu. K zajištění plášťového působení je třeba provést dostatečné množství spojů spodního trapézového plechu s vaznicí a v místech podélného překrývání jednotlivých plechů. Spodní trapézový plech bude ke každé vaznici připojen v každé vlně samořeznými šrouby  $\varnothing$  5,5 mm a jednotlivé pásy plechu budou na svých podélných okrajích spojeny po 500 mm samořeznými šrouby  $\varnothing$  5,5 mm (na základě předepsaných požadavků výrobce). Přenos sil z roviny spodního trapézového plechu do hlavní nosné konstrukce příčných vazeb bude proveden prostřednictvím připojení jednotlivých vaznic a střešních ztužidel.

**5.6. Krajiní zesílená vaznice**

Krajiní zesílená vaznice je navržena jako prostý nosník o jednom poli pro dva zatěžovací stavy. Zesílení profilu vaznice je provedeno profilem U umístěným z boku vaznice tak, aby se podélná osa zesilujícího profilu nacházela v místě podélné osy vaznice. První zatěžovací stav, gravitační kombinace, je tvořen vlastní vahou střešní konstrukce a zesílené vaznice a zatížením sněhem. Druhý zatěžovací stav, kombinace sání větru, je tvořen minimálním stálým zatížením (vlastní vahou zesílené vaznice a spodního trapézového plechu) a zatížením vyvolaným sáním větru dle příslušných větrných oblastí, které vyvozují maximální vnitřní síly.

Profil U zesílení vaznice IPE                      U120

Byla provedena kontrola, zda se zesilující profil vejde do profilu vaznice.

**Vnitřní síly**

$V_{Ed,1}$ [kN]	40	návrhová hodnota posouvající síly pro gravitační kombinaci
$V_{Ed,2}$ [kN]	41	návrhová hodnota posouvající síly pro kombinaci sání větru
$M_{Ed,1}$ [kN/m]	40	návrhová hodnota ohybového momentu pro gravitační kombinaci
$M_{Ed,2}$ [kN/m]	16	návrhová hodnota ohybového momentu pro kombinaci sání větru
$w_{MAX}$ [mm]	15	maximální průhyb vaznice

**Zesilující profil - průřezové a fyzikální charakteristiky**

$A$ [mm <sup>2</sup> ]	1700	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	880	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	3640000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	432000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	60700	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	72600	plastický modul průřezu k ose y
$i_y$ [mm]	46,273	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	15,941	poloměr setrvačnosti k ose z
$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	900000000	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	41500	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	120	výška nosníku
$b$ [mm]	55	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	7	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	9	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	9	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou

V následujícím výpočtu byly sečteny průřezové charakteristiky profilu vaznice a zesilujícího profilu.

**Únosnost ve smyku**

Při výpočtu únosnosti ve smyku bylo postupováno dle ČSN EN 1993-1-1 článku 6.2.6.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ [kN]	378,355	plastická únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku
$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$	10,84%	využití průřezu

## BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU

**Posouzení vlivu smykového boulení**

Vzhledem ke skutečnosti, že profil vaznice není třeba posuzovat na vliv smykového boulení, není na smykové boulení posuzována ani zesílená vaznice, protože vliv smyku nepřenáší jen stojina profilu vaznice, ale i stojina zesilujícího profilu. V případě zatížení gravitační kombinací není třeba posuzovat navrženou zesílenou vaznici na únosnost v ohybu se ztrátou stability vlivem klopení, protože je horní tlačaná část zesílené vaznice stabilizována spodním střešním trapézovým plechem, který brání klopení. Únosnost v ohybu se ztrátou stability vlivem klopení je třeba posoudit v případě zatížení pro kombinaci sání, kde je tlačanou částí zesílené vaznice spodní část, která není proti klopení nijak zajištěna.

**Únosnost v ohybu bez ztráty stability**

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$  [kNm]                      69,758    plastická únosnost v ohybu

$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$                       **VYHOVUJE**    posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu

$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$                       57,34%    využití průřezu

**Únosnost v ohybu se ztrátou stability – klopení**

$$K_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{L \cdot k_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right]$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2]$$



$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} \quad \text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0$$

$$M_{pl,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

h	160	výška nosníku
b	82	šířka nosníku
L [m]	6	délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny
k <sub>y</sub> [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
k <sub>z</sub> [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
k <sub>w</sub> [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v kroucení
K <sub>wt</sub> [-]	0,211	bezrozměrný parametr kroucení
z <sub>g</sub> [mm]	80	vzdálenost působíště zatížení od středu smyku
ζ <sub>g</sub> [-]	0,256	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
C <sub>1</sub> [-]	1,13	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců
C <sub>2</sub> [-]	0,46	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců
μ <sub>cr</sub> [-]	1,030	bezrozměrný kritický moment
M <sub>cr</sub> [Nmm]	20668486	pružný kritický moment při ztrátě příčné a torzní stability
λ <sub>LT</sub> [-]	1,837	poměrná štíhlost při klopení a křivka klopení (tabulka 6.4 ČSN EN 1993-1-1)
α <sub>LT</sub> [-]	0,21	součinitel imperfekce při klopení (tabulka 6.3 ČSN EN 1993-1-1)
φ <sub>LT</sub> [-]	2,359	hodnota pro výpočet součinitele klopení χ <sub>LT</sub>
χ <sub>LT</sub> [-]	0,260	součinitel klopení
M <sub>pl,Rd</sub> [kNm]	18,166	plastická únosnost v ohybu se ztrátou stability
M <sub>pl,Rd</sub> ≥ M <sub>Ed</sub>	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
M <sub>Ed</sub> / M <sub>pl,Rd</sub>	88,07%	využití průřezu

### Mezní stav použitelnosti

w <sub>MAX</sub> [mm]	15	maximální průhyb vaznice
w <sub>LIM</sub> [mm]	30	limitní hodnota průhybu dle ČSN EN 1993-1-1 národní příloha

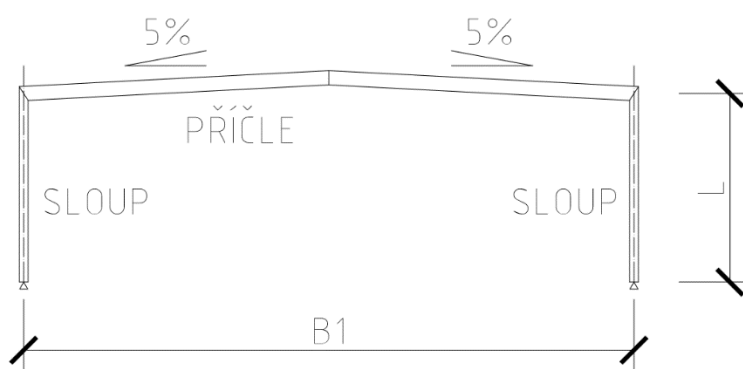
NA (L/200)

$w_{LIM} > w_{MAX}$     **VYHOVUJE** podmínka průhybu

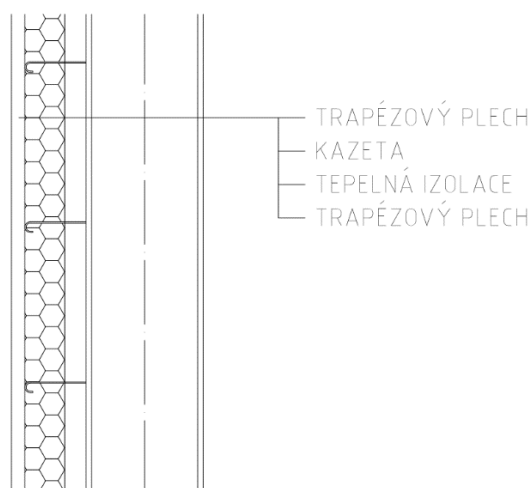
## 6. Rám - Zatížení a kombinace zatěžovacích stavů (KZS)

Příčná vazba je tvořena rámem skládajícím se z příčle a sloupů. Zatížení se do příčle přenáší vaznicemi a do sloupů kazetami, které tvoří hlavní nosnou konstrukci obvodového pláště stěn. Zatížení sloupů je proto na rozdíl od příčle spojitě. Obvodový plášť je tvořen spodními kazetami, horním trapézovým plechem (TR 50/250/0,75) a tepelnou izolací (minerální vlna ISOVER LAM30, tloušťka 150 mm, objemová tíha cca  $1 \text{ kN/m}^3$ , tj.  $g_{\text{izol}} = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ kN/m}^2$ ).

Obrázek 5 Schematický pohled na dvoukloubový rám



Obrázek 6 Schematický řez obvodovým pláštěm



### 6.1. Zatížení

Pro návrh a posouzení rámu budou uvažovány následující zatěžovací stavy. Stálé – G, Sníh –  $Q_s$ , sníh jednostranný - vlevo –  $Q_{SL}$ , sníh jednostranný - vpravo –  $Q_{SP}$ , vítr příčný –  $Q_{WT}$ , vítr podélný –  $Q_{WL}$ . Vliv imperfekcí rámu bude zaveden počátečním natočením sloupů  $\Phi$ , jehož hodnota je  $\Phi = 1/200$ . Účinek natočení bude ve výpočtu nahrazen dvojicí vodorovných sil

s ekvivalentním účinkem  $H_{\Phi} = \Phi * \Sigma N$ . Daný ekvivalentní účinek bude stanoven jen pro zatěžovací stavy, kdy jsou sloupy tlačeny, tedy stálé - G, Sníh -  $Q_S$ , sníh jednostranný - vlevo -  $Q_{SL}$ , sníh jednostranný - vpravo -  $Q_{SP}$ .

Profil příčle IPE750x137

Profil sloupu HEA500

Konstrukční ocel S355J0

### Celková hmotnost rámu

$m_{celk}$  [kg] 6918,241 celková hmotnost rámu

### Stálé – G

$F_{k,1}$ [kN]	6,842	charakteristická hodnota okapové vaznice
$F_{k,2}$ [kN]	12,737	charakteristická hodnota mezilehlé vaznice
$F_{k,\Delta}$ [kN]	0,417	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{k,2} + F_{k,\Delta}$ [kN]	13,154	charakteristická hodnota vrcholové vaznice (náhradní síla za 2 vrcholové vaznice a svislé přetížení)
$g_{k,1}$ [kN/m]	1,37	charakteristická hodnota vlastní tíhy příčle
$g_K$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,164	vlastní tíha kazety obvodového pláště ( <a href="http://www.kovprof.cz">www.kovprof.cz</a> )
$g_{izol}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,150	vlastní tíha tepelné izolace obvodového pláště
$g_{TR}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,075	vlastní tíha trapézového plechu obvodového pláště
$g_{k,2}$ [kN/m]	2,331	charakteristická hodnota obvodového pláště $g_{k,2} = (g_K + g_{izol} + g_{TR}) * 6$
$g_{k,3}$ [kN/m]	1,550	charakteristická hodnota vlastní tíhy sloupu
$H_{k,\Phi}$ [kN]	1,343	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojice sil
$F_{d,1}$ [kN]	9,237	návrhová hodnota okapové vaznice ( $F_{k,1} * 1,35$ )
$F_{d,2}$ [kN]	17,194	návrhová hodnota mezilehlé vaznice ( $F_{k,2} * 1,35$ )
$F_{d,\Delta}$ [kN]	0,564	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{d,2} + F_{d,\Delta}$ [kN]	17,758	návrhová hodnota vrcholové vaznice (náhradní síla za 2 vrcholové vaznice a svislé přetížení)
$g_{d,1}$ [kN/m]	1,850	návrhová hodnota vlastní tíhy příčle ( $g_{k,1} * 1,35$ )
$g_{d,2}$ [kN/m]	3,147	návrhová hodnota obvodového pláště ( $g_{k,2} * 1,35$ )
$g_{d,3}$ [kN/m]	2,093	návrhová hodnota vlastní tíhy sloupu ( $g_{k,3} * 1,35$ )
$H_{d,\Phi}$ [kN]	1,813	návrhová hodnota ekvivalentní dvojice sil

**Stálé min - Gmin**

Minimální stálé zatížení tvoří vlastní váha rámu (příčle a sloupů), vaznice, spodní trapézový plech střešního pláště a kazety obvodového pláště.

$F_{k,1}$ [kN]	1,511	charakteristická hodnota okapové vaznice
$F_{k,2}$ [kN]	2,073	charakteristická hodnota mezilehlé vaznice
$F_{k,\Delta}$ [kN]	0,011	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{k,2} + F_{k,\Delta}$ [kN]	2,084	charakteristická hodnota vrcholové vaznice (náhradní síla za 2 vrcholové vaznice a svislé přetížení)
$g_{k,1}$ [kN/m]	1,370	charakteristická hodnota vlastní tíhy příčle
$g_{k,2}$ [kN/m]	0,981	charakteristická hodnota obvodového pláště $g_{k,2} = g_K * 6$
$g_{k,3}$ [kN/m]	1,550	charakteristická hodnota vlastní tíhy sloupu
$H_{k,\Phi}$ [kN]	0,573	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojce sil
$F_{d,1}$ [kN]	1,511	návrhová hodnota okapové vaznice ( $F_{k,1} * 1,0$ )
$F_{d,2}$ [kN]	2,073	návrhová hodnota mezilehlé vaznice ( $F_{k,2} * 1,0$ )
$F_{d,\Delta}$ [kN]	0,011	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{d,2} + F_{d,\Delta}$ [kN]	2,084	návrhová hodnota vrcholové vaznice (náhradní síla za 2 vrcholové vaznice a svislé přetížení)
$g_{d,1}$ [kN/m]	1,370	návrhová hodnota vlastní tíhy příčle ( $g_{k,1} * 1,0$ )
$g_{d,2}$ [kN/m]	0,981	návrhová hodnota obvodového pláště ( $g_{k,2} * 1,0$ )
$g_{d,3}$ [kN/m]	1,550	návrhová hodnota vlastní tíhy sloupu ( $g_{k,3} * 1,0$ )
$H_{d,\Phi}$ [kN]	0,573	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil

**Sníh - Qs**

$F_{k,1}$ [kN]	6	charakteristická hodnota sněhu okapové vaznice
$F_{k,2}$ [kN]	12	charakteristická hodnota sněhu mezilehlé vaznice
$F_{k,\Delta}$ [kN]	0,430	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{k,2} + F_{k,\Delta}$ [kN]	12,430	charakteristická hodnota sněhu vrcholové vaznice (náhradní síla za sníh 2 vrcholových vaznic a svislé přetížení)
$H_{k,\Phi}$ [kN]	0,744	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojce sil
$F_{d,1}$ [kN]	9	návrhová hodnota sněhu okapové vaznice ( $F_{k,1} * 1,5$ )
$F_{d,2}$ [kN]	18	návrhová hodnota sněhu mezilehlé vaznice ( $F_{k,2} * 1,5$ )
$F_{d,\Delta}$ [kN]	0,590	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{d,2} + F_{d,\Delta}$ [kN]	18,590	návrhová hodnota sněhu vrcholové vaznice (náhradní síla za

sníh 2 vrcholových vaznic a svislé přetížení)

$H_{d,\Phi}$ [kN]	1,116	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil
-------------------	-------	--

**Sníh jednostranný vlevo -  $Q_{SL}$** 

Sníh působí jen na polovinu střechy. Hodnota zatížení sněhem na levé polovině střechy je stejná jako při zatížení pravé poloviny střechy. Výsledné hodnoty sil jsou tedy shodné, tedy  $Q_{SL} = Q_{SP}$

$F_{k,1}$ [kN]	3	charakteristická hodnota sněhu okapové vaznice
$F_{k,2}$ [kN]	6	charakteristická hodnota sněhu mezilehlé vaznice
$F_{k,\Delta}$ [kN]	0,215	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{k,2} + F_{k,\Delta}$ [kN]	6,215	charakteristická hodnota sněhu vrcholové vaznice (náhradní síla za sníh 2 vrcholových vaznic a svislé přetížení)
$H_{k,\Phi}$ [kN]	0,186	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojce sil
$F_{d,1}$ [kN]	4,5	návrhová hodnota sněhu okapové vaznice ( $F_{k,1} * 1,5$ )
$F_{d,2}$ [kN]	9	návrhová hodnota sněhu mezilehlé vaznice ( $F_{k,2} * 1,5$ )
$F_{d,\Delta}$ [kN]	0,295	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{d,2} + F_{d,\Delta}$ [kN]	9,295	návrhová hodnota sněhu vrcholové vaznice (náhradní síla za sníh 2 vrcholových vaznic a svislé přetížení)
$H_{d,\Phi}$ [kN]	0,279	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil

**Vítr -  $Q_{WT}$  a  $Q_{WL}$** 

Není možné jednoznačně určit hodnotu součinitele  $\mu$  pro stanovení součinitele vnitřního tlaku, proto budou pro jednotlivé oblasti působení větru na střešní rovinu a na obvodový plášť uvažovány méně příznivé okolnosti. Charakteristické hodnoty tlaku pro jednotlivé oblasti působení větru na střešní rovině  $C_{pe,10}$  jsou v našem případě shodné pro příčný i podélný vítr, proto budou také výsledné charakteristické hodnoty tlaku větru  $w_k$  v těchto oblastech shodné. Charakteristické hodnoty tlaku pro jednotlivé oblasti působení větru na obvodový plášť  $C_{pe,10}$  jsou v našem případě shodné, s výjimkou oblastí D a E pro příčný i podélný vítr, proto budou také výsledné charakteristické hodnoty tlaku větru  $w_k$  v oblastech A, B a C shodné a v oblastech D a E rozdílné.

$w_k^A$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_k^B$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,674	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_k^C$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,471	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_k^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,674	charakteristická hodnota podélného tlaku větru pro oblast D

$w_{k,př}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,685	charakteristická hodnota příčného tlaku větru pro oblast D
$w_{k,pod}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,337	charakteristická hodnota podélného tlaku větru pro oblast E
$w_{k,př}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,359	charakteristická hodnota příčného tlaku větru pro oblast E
$w_k^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,347	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F
$w_k^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G
$w_k^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H
$w_k^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,269	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_k^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_d^{A-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,414	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_d^{B-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,010	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_d^{C-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,707	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_{d,pod}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,010	návrhová hodnota podélného tlaku větru pro oblast D
$w_{d,př}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,027	návrhová hodnota příčného tlaku větru pro oblast D
$w_{d,pod}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,505	návrhová hodnota podélného tlaku větru pro oblast E
$w_{d,př}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,538	návrhová hodnota příčného tlaku větru pro oblast E
$w_d^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-2,021	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast F ( $w_k^{F-} * 1,5$ )
$w_d^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,414	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast G ( $w_k^{G-} * 1,5$ )
$w_d^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,909	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast H ( $w_k^{H-} * 1,5$ )
$w_d^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,404	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast I ( $w_k^{I-} * 1,5$ )
$w_d^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,505	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast I ( $w_k^{I+} * 1,5$ )

## 6.2. Kombinace zatěžovacích stavů

Na základě ohybových momentů a reakcí v podporách od jednotlivých zatěžovacích stavů byly sestaveny jednotlivé kombinace zatěžovacích stavů s ohledem na vyvození extrémních hodnot vnitřních sil rozhodných pro posouzení navrženého rámu. Pro posouzení účinků zatížení větrem byl vybrán druhý rám, kde jsou největší hodnoty sání větru na střeše, a je tedy možné vyvodit maximální tahovou sílu na sloupy rámu.

Obrázek 7 Kombinační tabulka zatížení rámu

	G	G <sub>min</sub>	Q <sub>S</sub>	Q <sub>SL</sub>	Q <sub>SP</sub>	Q <sub>WT</sub> <sup>-</sup>	Q <sub>WT</sub> <sup>+</sup>	Q <sub>WL</sub>
KZS1	X		X					
KZS2	X			X				
KZS3	X				X			
KZS4	X						X	
KZS5	X		X				X	
KZS6		X				X		
KZS7		X					X	
KZS8		X						X

Pro výpočet výsledných vnitřních sil byly použity níže uvedené vzorce a sestavena kombinační tabulka, která je součástí příloh. Součástí kombinační tabulky je také stanovení kombinace zatížení dle vztahu 6.10 a to z důvodu možného porovnání výsledných hodnot zatížení stanovených dle vztahu 6.10 a vztahů 6.10a a 6.10b. Porovnáním je zřejmé, že návrh dle vztahu 6.10 je nevhodný a předimenzovaný.

$$\text{Výraz (6.10a)} \quad 1,35 \cdot G_{k,j,sup} + 1,00 \cdot Q_{k,j,inf} + 1,5 \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\text{Výraz (6.10b)} \quad 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{k,j,sup} + 1,00 \cdot G_{k,j,inf} + 1,5 \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$



## 7. Rám - posudek příčle

Při posouzení rámu posoudíme jako první mezní stav použitelnosti - maximální svislý průhyb a maximální vodorovný posun horního styčnicku rámu. Deformace byly určeny z charakteristických hodnot zatížení, tedy z hodnot zatížení pro běžný provoz konstrukce. Vrchol příčle bude z důvodu nízkého sklonu střešní roviny a částečné eliminaci průhybu od stálých zatížení nadvýšen o 50 mm.

### Mezní stav použitelnosti

$L$ [mm]	30000	rozpětí příčle rámu
$h$ [mm]	9040	výška sloupu rámu
$\delta_{lim}$ [mm]	150	limitní hodnota průhybu příčle není stanovena, ale byla zvolena s přihlédnutím k ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA a k nízkému sklonu střešní roviny ( $L/200$ )
$\delta_{Q,lim}$ [mm]	120	limitní hodnota průhybu příčle od nahodilého zatížení sněhem dle ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA ( $L/250$ )
$\delta_{vod,lim}$ [mm]	60,3	limitní hodnota vodorovného posunu horního styčnicku rámu dle ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA ( $h/150$ )
$\delta_{max}$ [mm]	118,98	maximální průhyb příčle po odečtení nadvýšení
$\delta_{Q,max}$ [mm]	62	maximální průhyb příčle od nahodilého zatížení
$\delta_{vod,max}$ [mm]	40,9	maximální vodorovný posun horního styčnicku rámu
$\delta_{lim} > \delta_{max}$	<b>VYHOVUJE</b>	
$\delta_{Q,lim} > \delta_{Q,max}$	<b>VYHOVUJE</b>	
$\delta_{vod,lim} > \delta_{vod,max}$	<b>VYHOVUJE</b>	

### Mezní stav únosnosti

#### Návrh příčle - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	17460	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	9290	plocha stěny ve smyku

$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	1,6E+09	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	51700000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	4250000	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	4860000	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	393000	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	614000	plastický modul průřezu k ose z
$i_y$ [mm]	302,7	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	54,4	poloměr setrvačnosti k ose z
$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	6,98E+12	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	1370000	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	753	výška nosníku
$b$ [mm]	263	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	11,5	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	17	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	17	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
	2	třída průřezu stojiny pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu přecházející části pásnice pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	2	výsledná třída průřezu pro ohyb
$\lambda_1$ [-]	76,399	hodnota štíhlosti pro výpočet poměrné štíhlosti dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3 (93,9* $\varepsilon$ )

## 7.1. Rámový roh

### Návrhové hodnoty vnitřních sil s vlivem součinitele II. řádu

$M_{Ed}$ [kNm]	936,710	návrhová hodnota ohybového momentu
$N_{Ed}$ [kN]	106,932	návrhová hodnota normálové síly
$V_{Ed}$ [kN]	221,672	návrhová hodnota posouvající síly

### Zatřídění průřezu

Stojina průřezu je současně tlačena a ohýbaná, proto bude zatříděna v souladu s tabulkou 5.2 normy ČSN EN 1993-1-1 pro tlačnou a ohýbanou část

$\alpha$ [-]	0,519	podíl tlačené části průřezu
	2	třída průřezu stojiny pro tlačnou a ohýbanou část ( $\alpha > 0,5$ )
	1	třída průřezu pásnice pro tlačnou část

### Únosnost ve smyku bez vlivu boulení

Při výpočtu únosnosti ve smyku bylo postupováno dle ČSN EN 1993-1-1 článku 6.2.6.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$  [kN] 1904,072 plastická únosnost ve smyku

$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$  **VYHOVUJE** posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku

$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$  11,64% využití průřezu

BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU

### Posouzení vlivu smykového boulení

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta}$$

$$\overline{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$V_{b,Rd,max} = \frac{\eta \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} \leq V_{b,Rd,max}$$

$\eta$  [-] 1,2 součinitel dle ČSN EN 1993-1-5 národní přílohy NA

**NEVYHOVUJE** podmínka, za které není třeba posuzovat smykové boulení

$\overline{\lambda}_w$  [-] 0,847 štíhlost - příčná výztuha je pouze nad podporami (v místě rámových rohů a vrcholovém styčnicku)

0,83 /  $\eta$  0,692 poměr pro stanovení součinitele příspěvku stojiny  $\chi_w$

$\chi_w$  [-] 0,980 součinitel příspěvku stojiny k únosnosti v boulení při smyku dle ČSN EN 1993-1-5 čl. 5.3 tab. 5.1

$V_{bw,Rd}$  [kN] 1581,521 návrhová smyková únosnost příspěvku stojiny dle ČSN EN 1993-1-5 čl. 5.2

$V_{b,Rd,max}$ [kN]	1937,481	maximální smyková únosnost při boulení
$V_{b,Rd}$ [kN]	1581,521	únosnost ve smyku při boulení
$V_{b,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka pro plastickou únosnost ve smyku
$V_{Ed} / V_{b,Rd}$	14,02%	využití průřezu

#### BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU

O únosnosti příčle rámu v rohu rozhodnuje možnost ztráty stability prutu, proto není posuzována na prostý ohyb a osově síly, bez redukce únosnosti v ohybu vlivem smykových sil. Vzpěrné délky jsou stanoveny následovně: vzpěrná délka v rovině rámu  $L_{cr,y}$  je stanovena přibližně jako 90 % poloviny rozpětí haly (s ohledem na ČSN EN 1993-1-1 příloha BB), vzpěrná délka z roviny rámu  $L_{cr,z}$  je stanovena jako vzdálenost mezi vaznicemi, které brání vybočení příčle z roviny rámu.

#### Únosnost v ohybu bez ztráty stability

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$ [kNm]	1725,3	plastická únosnost v ohybu
$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$	54,29%	využití průřezu

#### Únosnost na kombinaci ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \cdot A, \quad M_{i,Rk} = f_y \cdot W_{pl,i}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$K_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{L \cdot k_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right]$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi_{LT} \leq 1,0$$

$$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$$

$$\overline{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$$

$$\Phi_i = 0,5 \cdot [1 + \alpha_i \cdot (\overline{\lambda}_i - 0,2) + \overline{\lambda}_i^2]$$

$$\chi_i = \frac{1}{\Phi_i + \sqrt{\Phi_i^2 - \overline{\lambda}_i^2}} \quad \text{ale} \quad \chi_i \leq 1,0$$

Spodní pásnice je příčně podepřena v rámovém rohu a následně ve vzdálenosti 5,0 m od rámového rohu (místo nulového momentu, tedy přechod z tlačené spodní pásnice na tlačnou horní pásnici – tento bod můžeme vzít jako bod podepření, jak bylo uvedeno). V rámovém rohu je tedy vzpěrná délka na klopení  $L_{LT} = 5,0$  m. S přihlédnutím k bezpečnosti zanedbáme podepření horní tažené pásnice v části  $L_{LT}$  a výpočet bude proveden pro lineární průběh momentu.

$N_{Rk}$ [kN]	6198,3	charakteristická hodnota únosnosti v tlaku
$M_{y,Rk}$ [kNm]	1725,3	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y
$M_{z,Rk}$ [kNm]	217,97	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z
$C_{mLT}$ [-]	1,4	součinitel $C_m$ ekvivalentního konstantního momentu norma ČSN EN 1993-1-1 příloha B na vzpěrné délce $L_{LT}$
$C_{my}$ [-]	0,9	součinitel $C_m$ ekvivalentního konstantního momentu norma ČSN EN 1993-1-1 příloha B na příčli
$k_z$ [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
$k_w$ [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v kroucení
$K_{wt}$ [-]	2,284	bezrozměrný parametr kroucení

$z_g$ [mm]	376,5	vzdálenost působíště zatížení od středu smyku
$\zeta_g$ [-]	0,779	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$C_{1,0}$ [-]	1,31	součinitel tvaru momentového obrazce dle ČSN EN 1993-1-1 národní přílohy NB (tab. NB.3.1)
$C_{1,1}$ [-]	1,32	součinitel tvaru momentového obrazce dle ČSN EN 1993-1-1 národní přílohy NB (tab. NB.3.1)
$C_1$ [-]	1,32	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců norma ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NB
$C_2$ [-]	0	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců - průběh momentu je lineární
$\mu_{cr}$ [-]	3,291	bezrozměrný kritický moment
$M_{cr}$ [Nmm]	2,269E+09	pružný kritický moment při ztrátě příčné a torzní stability
$\lambda_{LT}$ [-]	0,872	poměrná štíhlost při klopení b křivka klopení (tabulka 6.4 ČSN EN 1993-1-1)
$\alpha_{LT}$ [-]	0,34	součinitel imperfekce při klopení (tabulka 6.3 ČSN EN 1993-1-1)
$\varphi_{LT}$ [-]	0,994	hodnota pro výpočet součinitele klopení $\chi_{LT}$
$\chi_{LT}$ [-]	0,679	součinitel klopení
$L_{cr,y}$ [m]	13,519	vzpěrná délka v rovině rámu
$L_{LT}$ [m]	5	vzpěrná délka na klopení v rámovém rohu (vzdálenost mezi body zajištěnými proti posunu z roviny)
$L_{cr,z}$ [m]	2,5	vzpěrná délka z roviny rámu
$\lambda_y$ [-]	44,659	štíhlost k ose y
$\lambda_z$ [-]	45,956	štíhlost k ose z
$\bar{\lambda}_y$ [-]	0,585	poměrná štíhlost k ose y
$\bar{\lambda}_z$ [-]	0,602	poměrná štíhlost k ose z a křivka vzpěrné pevnosti y-y b křivka vzpěrné pevnosti z-z
$\alpha_y$ [-]	0,21	součinitel imperfekce k ose y
$\alpha_z$ [-]	0,34	součinitel imperfekce k ose z
$\varphi_y$ [-]	0,711	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y
$\varphi_z$ [-]	0,749	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z

$\chi_y [-]$	0,896	součinitel vzpěrnosti k ose y
$\chi_z [-]$	0,836	součinitel vzpěrnosti k ose z
$\chi_{\min} [-]$	0,836	minimální součinitel vzpěrnosti
$k_{yy} [-]$	0,907	součinitel interakce pro pruty náchylné ke zkroucení
$k_{zy} [-]$	0,999	součinitel interakce pro pruty náchylné ke zkroucení
	0,019	první část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61) - vliv tlakové síly
	0,725	druhá část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61) - vliv ohybového momentu
	<b>0,744</b>	<b>kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61)</b>
	0,021	první část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62) - vliv tlakové síly
	0,799	druhá část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62) - vliv ohybového momentu
	<b>0,819</b>	<b>kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62)</b>
<b>VYHOVUJE</b>	posouzení kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61)	
<b>VYHOVUJE</b>	posouzení kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62)	

Z provedeného posouzení a porovnání vlivu tlakové síly a vlivu ohybového momentu můžeme učinit závěr, že vliv tlakové síly na celkovou únosnost je minimální.

## 7.2. Pole

Moment v poli příčle je menší než moment v rámovém rohu. Délka úseku, na kterém může dojít ke klopení, je dána osovou vzdáleností vaznic připevněných k horní tlačené pásnici a bránících klopení a tato je menší než v případě délky ke klopení v rámovém rohu. Z tohoto důvodu není třeba příčli rámu v poli posuzovat ani na únosnost bez vlivu klopení (moment v poli je menší než moment v rámovém rohu), ani na únosnost s vlivem klopení. Příčle v poli vyhoví.

## 8. Rám - Mezní stav únosnosti sloupu

### Návrh sloupu - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	19800	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	7470	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	870000000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	104000000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	3550000	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	3950000	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	691330	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	1059000	plastický modul průřezu k ose z
$i_y$ [mm]	209,617	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	72,474	poloměr setrvačnosti k ose z
$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	5,64E+12	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	3090000	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	490	výška nosníku
$b$ [mm]	300	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	12	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	23	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	27	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
$L$ [mm]	9040	výška sloupu

### Návrhové hodnoty vnitřních sil

Moment působící na sloup je maximální v hlavě sloupu, ale normálová síla je maximální v patě sloupu. Z tohoto důvodu byl sloup dále posouzen na moment působící v hlavě sloupu a na průměrnou hodnotu normálové síly působící po délce sloupu (normálová síla v hlavě sloupu + normálová síla v patě sloupu)/2



$N_{Ed}$ [kN]	261,473	návrhová hodnota normálové síly (průměrná hodnota po délce sloupu)
$V_{Ed}$ [kN]	89,721	návrhová hodnota posouvající síly
$M_{Ed}$ [kNm]	811,061	návrhová hodnota ohybového momentu

### Mezní stav únosnosti

#### Zatřídění průřezu podle jednotlivých typů namáhání

	1	třída průřezu stojiny pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu přechínající části pásnice pro tlak dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>1</b>	<b>výsledná třída průřezu pro ohyb</b>
	3	třída průřezu stojiny pro tlak dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>3</b>	<b>výsledná třída průřezu pro tlak</b>
$\alpha$ [-]	0,579	podíl tlačené části průřezu
	1	třída průřezu stojiny pro tlačnou a ohýbanou část ( $\alpha > 0,5$ )
	1	třída průřezu pásnice pro tlačnou část
	<b>1</b>	<b>výsledná třída průřezu pro tlačnou a ohýbanou část</b>

#### Únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ [kN]	1531,046	plastická únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku
$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$	5,86%	využití průřezu
BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU		

#### Únosnost v ohybu bez ztráty stability

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$ [kNm]	1402,25	plastická únosnost v ohybu
$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$	57,84%	využití průřezu

**Únosnost ve vzpěrném tlaku**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$L_{cr,y}$ [m]	9,04	vzpěrná délka pro vybočení v rovině příčné vazby
$\lambda_y$ [-]	43,126	štíhlost k ose y
$\lambda_1$ [-]	76,155	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}_y$ [-]	0,566	poměrná štíhlost k ose y a křivka vzpěrné pevnosti y-y
$\alpha_y$ [-]	0,21	součinitel imperfekce k ose y
$\phi_y$ [-]	0,699	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y
$\chi_y$ [-]	0,902	součinitel vzpěrnosti k ose y
$L_{cr,z}$ [m]	9,04	vzpěrná délka pro vybočení z roviny příčné vazby
$\lambda_z$ [-]	124,734	štíhlost k ose z
$\lambda_1$ [-]	76,399	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}_z$ [-]	1,633	poměrná štíhlost k ose z b křivka vzpěrné pevnosti z-z
$\alpha_z$ [-]	0,34	součinitel imperfekce k ose z
$\phi_z$ [-]	2,076	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z
$\chi_z$ [-]	0,298	součinitel vzpěrnosti k ose z
$\chi_{min}$ [-]	0,298	minimální součinitel vzpěrnosti
$N_{b,Rd}$ [kN]	2092,463	únosnost ve vzpěrném tlaku

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} \quad \text{VYHOVUJE posouzení - podmínka na únosnost ve vzpěrném tlaku}$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} \quad 12,50\% \quad \text{využití průřezu}$$

### Únosnost na kombinaci ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \cdot A, \quad M_{i,Rk} = f_y \cdot W_{pl,i}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$K_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{L \cdot k_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right]$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0$$

$$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$$

$$\overline{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$$

$$\Phi_i = 0,5 \cdot [1 + \alpha_i \cdot (\overline{\lambda}_i - 0,2) + \overline{\lambda}_i^2]$$

$$\chi_i = \frac{1}{\Phi_i + \sqrt{\Phi_i^2 - \lambda_i^2}} \quad \text{ale } \chi_i \leq 1,0$$

$L_{cr,y}$ [m]	9,04	vzpěrná délka v rovině rámu
$L_{LT}$ [m]	4,52	vzpěrná délka na klopení (vzdálenost mezi body zajištěnými proti posunu z roviny)
$L_{cr,z}$ [m]	9,04	vzpěrná délka z roviny rámu
$N_{Rk}$ [kN]	7029	charakteristická hodnota únosnosti v tlaku
$M_{y,Rk}$ [kNm]	1402,25	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y
$M_{z,Rk}$ [kNm]	375,945	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z
$C_{mLT}$ [-]	0,6	součinitel $C_m$ ekvivalentního konstantního momentu norma ČSN EN 1993-1-1 příloha B na vzpěrné délce $L_{LT}$
$C_{my}$ [-]	0,9	součinitel $C_m$ ekvivalentního konstantního momentu norma ČSN EN 1993-1-1 příloha B při vybočení s posuvem styčníků
$k_z$ [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu (na obou koncích úseku prutu je možné natočení průřezu okolo osy menší tuhosti z)
$k_w$ [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v kroucení (deplanaci není ani na jednom konci bráněno)
$K_{wt}$ [-]	1,512	bezrozměrný parametr kroucení
$z_g$ [mm]	245	vzdálenost působíště zatížení od středu smyku
$\zeta_g$ [-]	0,795	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$C_{1,0}$ [-]	1,77	součinitel tvaru momentového obrazce dle ČSN EN 1993- 1-1 národní přílohy NB (tab. NB.3.1)
$C_{1,1}$ [-]	1,85	součinitel tvaru momentového obrazce dle ČSN EN 1993- 1-1 národní přílohy NB (tab. NB.3.1)
$C_1$ [-]	1,85	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců norma ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NB
$C_2$ [-]	0	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců - průběh momentů je lineární
$\mu_{cr}$ [-]	3,354	bezrozměrný kritický moment
$M_{cr}$ [Nmm]	5,45E+09	pružný kritický moment při ztrátě příčné a torzní stability

$\lambda_{LT}$ [-]	0,507 poměrná štíhlost při klopení a křivka klopení (tabulka 6.4 ČSN EN 1993-1-1)
$\alpha_{LT}$ [-]	0,21 součinitel imperfekce při klopení (tabulka 6.3 ČSN EN 1993-1-1)
$\varphi_{LT}$ [-]	0,661 hodnota pro výpočet součinitele klopení $\chi_{LT}$
$\chi_{LT}$ [-]	0,922 součinitel klopení
$\lambda_y$ [-]	43,126 štíhlost k ose y
$\lambda_z$ [-]	124,734 štíhlost k ose z
$\bar{\lambda}_y$ [-]	0,566 poměrná štíhlost k ose y
$\bar{\lambda}_z$ [-]	1,638 poměrná štíhlost k ose z a křivka vzpěrné pevnosti y-y b křivka vzpěrné pevnosti z-z
$\alpha_y$ [-]	0,21 součinitel imperfekce k ose y
$\alpha_z$ [-]	0,34 součinitel imperfekce k ose z
$\varphi_y$ [-]	0,699 hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y
$\varphi_z$ [-]	2,086 hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z
$\chi_y$ [-]	0,902 součinitel vzpěrnosti k ose y
$\chi_z$ [-]	0,296 součinitel vzpěrnosti k ose z
$\chi_{min}$ [-]	0,296 minimální součinitel vzpěrnosti
$k_{yy}$ [-]	0,914 součinitel interakce pro pruty náchylné ke zkroucení
$k_{zy}$ [-]	0,964 součinitel interakce pro pruty náchylné ke zkroucení
	0,041 první část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61) - vliv tlakové síly
	0,573 druhá část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61) - vliv ohybového momentu
	<b>0,614</b> kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61)
	0,126 první část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62) - vliv tlakové síly
	0,605 druhá část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62) - vliv ohybového momentu
	<b>0,730</b> kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62)

**VYHOVUJE** posouzení kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN  
1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61)

**VYHOVUJE** posouzení kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN  
1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62)

## 9. Vazník - Zatížení a kombinace zatěžovacích stavů (KZS)

Alternativním návrhem je příčná vazba tvořená příhradovým vazníkem skládajícím se z jednotlivých profilů čtvercových trubek válcovaných za tepla (z důvodu nižší pracnosti svařovaných spojů byly zvoleny trubky čtvercového profilu namísto trubek kruhového profilu), a vetknutými sloupy profilu HEA. Zatížení se do styčníků přenáší vaznicemi. Vlastní váha vazníku je přepočtena na zatížení jednotlivých styčníků z důvodu vyvození pouze osového namáhání jednotlivých prutů. Spodní pás vazníku je uložen na sloup posuvně ve směru osy pásu, proto jsou krajní pruty spodního pásu nulové (prut není namáhán ani tahem ani tlakem). Ve výpočetním modelu nejsou tyto krajní pruty modelovány, ale jsou navrženy, protože zajišťují spodní pás vazníku proti vybočení z roviny vazníku. Spodní pás je dále zajištěn proti vybočení z roviny vazníku ve třetinách rozpětí, tedy 10,0 m od uložení na sloup z každé strany. Ztužidla zajišťující polohu spodního pásu proti vybočení z roviny vazníku nejsou předmětem návrhu, ale pokud by měly být navrhovány a posuzovány, byly by navrženy cca na 1/10 normálové síly působící v dolním pásu vazníku, protože síla potřebná k udržení spodního pásu v původní poloze se rovná právě cca 1/10 síly působící ve spodním pásu. Zatížení se do sloupů přenáší kazetami, které tvoří hlavní nosnou konstrukci obvodového pláště stěn. Zatížení sloupů je proto na rozdíl od vazníku spojitě. Obvodový plášť je tvořen spodními kazetami, horním trapézovým plechem (TR 50/250/0,75) a tepelnou izolací (minerální vlna ISOVER LAM30, tloušťka 150 mm, objemová tíha cca 1 kN/m<sup>3</sup>, tj.  $g_{\text{izol}} = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ kN/m}^2$ ).

### 9.1. Zatížení

Pro návrh a posouzení vazníku budou uvažovány následující zatěžovací stavy. Stálé - G, Sníh - Q<sub>S</sub>, sníh jednostranný - vlevo - Q<sub>SL</sub>, sníh jednostranný - vpravo - Q<sub>SP</sub>, vítr příčný - Q<sub>WT</sub>, vítr podélný - Q<sub>WL</sub>. Vliv imperfekcí příčné vazby bude zaveden počátečním natočením sloupů  $\Phi$ , jehož hodnota je  $\Phi = 1/200$ . Účinek natočení bude ve výpočtu nahrazen dvojicí vodorovných sil s ekvivalentním účinkem  $H_{\Phi} = \Phi \cdot \Sigma N$ . Daný ekvivalentní účinek bude stanoven jen pro zatěžovací stavy, kdy jsou sloupy tlačeny, tedy stálé - G, Sníh - Q<sub>S</sub>, sníh jednostranný - vlevo - Q<sub>SL</sub>, sníh jednostranný - vpravo - Q<sub>SP</sub>.

Profil sloupu HEA450

#### Stálé - G

$F_{k,1}$  [kN]                      9,296   charakteristická hodnota okapové vaznice

$F_{k,2}$ [kN]	17,645	charakteristická hodnota mezilehlé vaznice
$F_{k,\Delta}$ [kN]	0,417	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{k,2} + F_{k,\Delta}$ [kN]	18,062	charakteristická hodnota vrcholové vaznice (náhradní síla za 2 vrcholové vaznice a svislé přetížení)
$g_{k,1}$ [kN/m]	1,963	charakteristická hodnota vlastní tíhy vazníku - horní odhad vlastní tíhy
$g_K$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,164	vlastní tíha kazety obvodového pláště ( <a href="http://www.kovprof.cz">www.kovprof.cz</a> )
$g_{izol}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,15	vlastní tíha tepelné izolace obvodového pláště
$g_{TR}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,075	vlastní tíha trapézového plechu obvodového pláště
$g_{k,2}$ [kN/m]	2,331	charakteristická hodnota obvodového pláště $g_{k,2} = (g_K + g_{izol} + g_{TR}) * 6$
$g_{k,3}$ [kN/m]	1,4	charakteristická hodnota vlastní tíhy sloupu
$H_{k,\Phi}$ [kN]	1,712	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojce sil
$F_{d,1}$ [kN]	12,550	návrhová hodnota okapové vaznice ( $F_{k,1} * 1,35$ )
$F_{d,2}$ [kN]	23,820	návrhová hodnota mezilehlé vaznice ( $F_{k,2} * 1,35$ )
$F_{d,\Delta}$ [kN]	0,564	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{d,2} + F_{d,\Delta}$ [kN]	24,384	návrhová hodnota vrcholové vaznice (náhradní síla za 2 vrcholové vaznice a svislé přetížení)
$g_{d,1}$ [kN/m]	2,650	návrhová hodnota vlastní tíhy vazníku ( $g_{k,1} * 1,35$ )
$g_{d,2}$ [kN/m]	3,147	návrhová hodnota obvodového pláště ( $g_{k,2} * 1,35$ )
$g_{d,3}$ [kN/m]	1,89	návrhová hodnota vlastní tíhy sloupu ( $g_{k,3} * 1,35$ )
$H_{d,\Phi}$ [kN]	2,311	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil

**Stálé min -  $G_{min}$** 

Minimální stálé zatížení tvoří vlastní váha rámu (příčle a sloupů), vaznice, spodní trapézový plech střešního pláště a kazety obvodového pláště).

$F_{k,1}$ [kN]	2,247	charakteristická hodnota okapové vaznice
$F_{k,2}$ [kN]	3,545	charakteristická hodnota mezilehlé vaznice
$F_{k,\Delta}$ [kN]	0,011	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{k,2} + F_{k,\Delta}$ [kN]	3,557	charakteristická hodnota vrcholové vaznice (náhradní síla za 2 vrcholové vaznice a svislé přetížení)
$g_{k,1}$ [kN/m]	0,589	charakteristická hodnota vlastní tíhy vazníku - dolní odhad vlastní tíhy



$g_{k,2}$ [kN/m]	0,981	charakteristická hodnota obvodového pláště $g_{k,2} = g_K * 6$
$g_{k,3}$ [kN/m]	1,4	charakteristická hodnota vlastní tíhy sloupu
$H_{k,\Phi}$ [kN]	0,531	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojce sil
$F_{d,1}$ [kN]	2,247	návrhová hodnota okapové vaznice ( $F_{k,1} * 1,0$ )
$F_{d,2}$ [kN]	3,545	návrhová hodnota mezilehlé vaznice ( $F_{k,2} * 1,0$ )
$F_{d,\Delta}$ [kN]	0,011	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{d,2} + F_{d,\Delta}$ [kN]	3,557	návrhová hodnota vrcholové vaznice (náhradní síla za 2 vrcholové vaznice a svislé přetížení)
$g_{d,1}$ [kN/m]	0,589	návrhová hodnota vlastní tíhy vazníku ( $g_{k,1} * 1,0$ )
$g_{d,2}$ [kN/m]	0,981	návrhová hodnota obvodového pláště ( $g_{k,2} * 1,0$ )
$g_{d,3}$ [kN/m]	1,4	návrhová hodnota vlastní tíhy sloupu ( $g_{k,3} * 1,0$ )
$H_{d,\Phi}$ [kN]	0,531	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil

**Sníh -  $Q_s$** 

$F_{k,1}$ [kN]	6	charakteristická hodnota sněhu okapové vaznice
$F_{k,2}$ [kN]	12	charakteristická hodnota sněhu mezilehlé vaznice
$F_{k,\Delta}$ [kN]	0,430	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{k,2} + F_{k,\Delta}$ [kN]	12,430	charakteristická hodnota sněhu vrcholové vaznice (náhradní síla za sníh 2 vrcholových vaznic a svislé přetížení)
$H_{k,\Phi}$ [kN]	0,744	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojce sil
$F_{d,1}$ [kN]	9	návrhová hodnota sněhu okapové vaznice ( $F_{k,1} * 1,5$ )
$F_{d,2}$ [kN]	18	návrhová hodnota sněhu mezilehlé vaznice ( $F_{k,2} * 1,5$ )
$F_{d,\Delta}$ [kN]	0,590	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{d,2} + F_{d,\Delta}$ [kN]	18,590	návrhová hodnota sněhu vrcholové vaznice (náhradní síla za sníh 2 vrcholových vaznic a svislé přetížení)
$H_{d,\Phi}$ [kN]	1,116	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil

**Sníh jednostranný vlevo -  $Q_{SL}$** 

Sníh působí jen na polovinu střechy. Hodnota zatížení sněhem na levé polovině střechy je stejná jako při zatížení pravé poloviny střechy. Výsledné hodnoty sil jsou tedy shodné, tedy  $Q_{SL} = Q_{SP}$

$F_{k,1}$ [kN]	3	charakteristická hodnota sněhu okapové vaznice
$F_{k,2}$ [kN]	6	charakteristická hodnota sněhu mezilehlé vaznice
$F_{k,\Delta}$ [kN]	0,215	charakteristická hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic

$F_{k,2} + F_{k,\Delta}$ [kN]	6,215	charakteristická hodnota sněhu vrcholové vaznice (náhradní síla za sněh 2 vrcholových vaznic a svislé přetížení)
$H_{k,\Phi}$ [kN]	0,186	charakteristická hodnota ekvivalentní dvojce sil
$F_{d,1}$ [kN]	4,5	návrhová hodnota sněhu okapové vaznice ( $F_{k,1} * 1,5$ )
$F_{d,2}$ [kN]	9	návrhová hodnota sněhu mezilehlé vaznice ( $F_{k,2} * 1,5$ )
$F_{d,\Delta}$ [kN]	0,295	návrhová hodnota svislého přetížení vrcholových vaznic
$F_{d,2} + F_{d,\Delta}$ [kN]	9,295	návrhová hodnota sněhu vrcholové vaznice (náhradní síla za sněh 2 vrcholových vaznic a svislé přetížení)
$H_{d,\Phi}$ [kN]	0,279	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil

### Vítr - $Q_{WT}$ a $Q_{WL}$

Není možné jednoznačně určit hodnotu součinitele  $\mu$  pro stanovení součinitele vnitřního tlaku, proto budou pro jednotlivé oblasti působení větru na střešní rovinu a na obvodový plášť uvažovány méně příznivé okolnosti. Charakteristické hodnoty tlaku pro jednotlivé oblasti působení větru na střešní rovině  $C_{pe,10}$  jsou v našem případě shodné pro příčný i podélný vítr, proto budou také výsledné charakteristické hodnoty tlaku větru  $w_k$  v těchto oblastech shodné. Charakteristické hodnoty tlaku pro jednotlivé oblasti působení větru na obvodový plášť  $C_{pe,10}$  jsou v našem případě shodné, s výjimkou oblastí D a E pro příčný i podélný vítr, proto budou také výsledné charakteristické hodnoty tlaku větru  $w_k$  v oblastech A, B a C shodné a v oblastech D a E rozdílné.

$w_k^{A-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_k^{B-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,674	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_k^{C-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,471	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_{k,pod}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,674	charakteristická hodnota podélného tlaku větru pro oblast D
$w_{k,př}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,685	charakteristická hodnota příčného tlaku větru pro oblast D
$w_{k,pod}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,337	charakteristická hodnota podélného tlaku větru pro oblast E
$w_{k,př}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,359	charakteristická hodnota příčného tlaku větru pro oblast E
$w_k^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,347	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast F
$w_k^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,943	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast G
$w_k^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,606	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast H
$w_k^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,269	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I

$w_k^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,337	charakteristická hodnota tlaku větru pro oblast I
$w_d^{A-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,414	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast A
$w_d^{B-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,010	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast B
$w_d^{C-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,707	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast C
$w_{d,pod}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,010	návrhová hodnota podélného tlaku větru pro oblast D
$w_{d,př}^{D+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,027	návrhová hodnota příčného tlaku větru pro oblast D
$w_{d,pod}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,505	návrhová hodnota podélného tlaku větru pro oblast E
$w_{d,př}^{E-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,538	návrhová hodnota příčného tlaku větru pro oblast E
$w_d^{F-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-2,021	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast F ( $w_k^{F-} * 1,5$ )
$w_d^{G-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-1,414	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast G ( $w_k^{G-} * 1,5$ )
$w_d^{H-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,909	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast H ( $w_k^{H-} * 1,5$ )
$w_d^{I-}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-0,404	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast I ( $w_k^{I-} * 1,5$ )
$w_d^{I+}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,505	návrhová hodnota tlaku větru pro oblast I ( $w_k^{I+} * 1,5$ )

## 9.2. Kombinace zatěžovacích stavů

Na základě ohybových momentů a reakcí v podporách od jednotlivých zatěžovacích stavů byly sestaveny jednotlivé kombinace zatěžovacích stavů s ohledem na vyvození extrémních hodnot vnitřních sil rozhodných pro posouzení navrženého příhradového vazníku a sloupu. Pro posouzení účinků zatížení větrem byla vybrána druhá plná vazba, kde jsou největší hodnoty sání větru na střeše.

Obrázek 8 Kombinační tabulka zatížení vazníku

	G	G <sub>min</sub>	Q <sub>S</sub>	Q <sub>SL</sub>	Q <sub>SP</sub>	Q <sub>WT</sub> <sup>-</sup>	Q <sub>WT</sub> <sup>+</sup>	Q <sub>WL</sub>
KZS1	X		X					
KZS2	X			X				
KZS3	X				X			
KZS4	X						X	
KZS5	X		X				X	
KZS6		X				X		
KZS7		X					X	
KZS8		X						X

Pro výpočet výsledných vnitřních sil byly použity níže uvedené vzorce a sestaveny kombinační tabulky, které jsou součástí příloh. Součástí kombinační tabulky je také stanovení kombinace zatížení dle vztahu 6.10 a to z důvodu možného porovnání výsledných hodnot

zatížení stanovených dle vztahu 6.10 a vztahů 6.10a a 6.10b. Porovnáním je zřejmé, že návrh dle vztahu 6.10 je nevhodný a předimenzovaný.

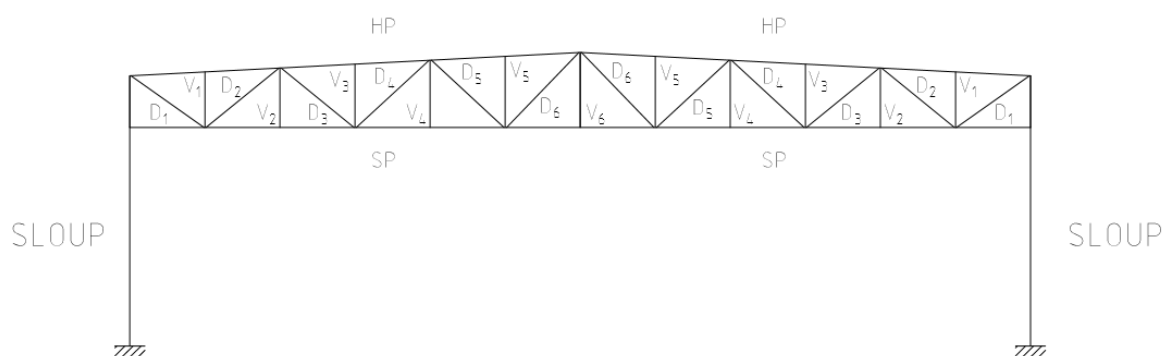
$$\text{Výraz (6.10a)} \quad 1,35 \cdot G_{k,j,sup} + 1,00 \cdot Q_{k,j,inf} + 1,5 \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\text{Výraz (6.10b)} \quad 1,35 \cdot 0,85 \cdot G_{k,j,sup} + 1,00 \cdot G_{k,j,inf} + 1,5 \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

## 10. Vazník - posudek vazníku

Příhradový vazník je na sloupy uložen horním pásem kloubově. Normálová síla ve spodním pásu mezi styčnickem a sloupem nevzniká, ale spodní pás je v daném místě navržen z důvodu zajištění stability spodního pásu vazníku proti vybočení z roviny. Spoj je proveden čelním plechem s distanční podložkou umožňující deformace příhradového vazníku vlivem změn teploty. Ze stejného důvodu jsou z konstrukčního hlediska navržena také ztužidla ve třetinách rozpětí příhradového vazníku, která zajišťují polohu dolního pásu příhradového vazníku proti vybočení z roviny vazníku. Spoje jednotlivých prvků příhradového vazníku – horní pás, spodní pás, diagonály a svislice – jsou provedeny koutovým svarem. Vazník sám je tvořen ze tří montážních celků. Tento fakt ale nemá vliv na statický model vazníku ani na posouzení jednotlivých prvků.

Obrázek 9 Schematický pohled na příhradový vazník



Konstrukční ocel S355J0

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$\gamma_{M5}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro únosnost styčníků příhradových nosníků z prutů uzavřeného průřezu

**Mezní stav únosnosti**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Na základě uvedených vztahů vycházejících z ČSN EN 1993-1-1 článku 6.2 a článku 6.3 byla stanovena únosnost jednotlivých prvků příhradového vazníku. Značení prvků, průřezové charakteristiky, dílčí hodnoty výpočtu i výsledky byly sestaveny do následujících tří tabulek (vzhledem k rozsahu uváděných hodnot).

*Tabulka 1 Stanovení únosnosti prutů příhradového vazníku 1*

Prut	N <sub>c,Ed</sub> [kN]	N <sub>t,Ed</sub> [kN]	Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	I [mm <sup>4</sup> ]	i [mm]	L [mm]
SP	193,255	733,232	SHS140x140x8	4000	11300000	53	10000
HP	747,397	242,630	SHS140x140x8	4000	11300000	53	2500
D1	89,130	372,770	SHS80x80x5	1440	1310000	30,3	3023,24
D2	272,241	65,475	SHS80x80x5	1440	1310000	30,3	3180,85
D3	40,585	170,519	SHS60x60x5	1040	505000	22,1	3180,85
D4	116,844	23,935	SHS60x60x5	1040	505000	22,1	3352,28
D5	8,090	52,424	SHS50x50x4	695	237000	18,5	3352,28
D6	22,770	34,149	SHS50x50x4	695	237000	18,5	3535,53
V1	40,853	13,285	SHS50x50x4	695	237000	18,5	1833,33
V2	0,095	0,210	SHS50x50x4	695	237000	18,5	1966,67
V3	40,304	9,815	SHS50x50x4	695	237000	18,5	2100
V4	0,160	0,211	SHS50x50x4	695	237000	18,5	2233,45
V5	40,455	9,440	SHS50x50x4	695	237000	18,5	2366,67
V6	0,605	2,182	SHS50x50x4	695	237000	18,5	2500

Tabulka 2 Stanovení únosnosti prutů příhradového vazníku 2

Lcr/L	Lcr [mm]	$\lambda$ [-]	$\lambda_1$ [-]	$\bar{\lambda}$ [-]	$\alpha$ [-]	$\varphi$ [-]	$\chi$ [-]	$N_{c,Rd}$ [kN]	$N_{c,Ed} / N_{c,Rd}$
1	10000,000	188,679	76,399	2,470	0,21	3,788	0,150	213,210	0,906
0,9	2250,000	42,453	76,399	0,556	0,21	0,692	0,906	1286,576	0,581
0,75	2267,430	74,833	76,399	0,980	0,21	1,062	0,680	347,563	0,256
0,75	2385,638	78,734	76,399	1,031	0,21	1,118	0,644	329,319	0,827
0,75	2385,638	107,947	76,399	1,413	0,21	1,626	0,412	151,975	0,267
0,75	2514,210	113,765	76,399	1,489	0,21	1,744	0,377	139,216	0,839
0,75	2514,210	135,903	76,399	1,779	0,21	2,248	0,276	68,111	0,119
0,75	2651,648	143,332	76,399	1,876	0,21	2,436	0,251	61,843	0,368
0,75	1374,998	74,324	76,399	0,973	0,21	1,054	0,685	168,888	0,242
0,75	1475,003	79,730	76,399	1,044	0,21	1,133	0,635	156,692	0,001
0,75	1575,000	85,135	76,399	1,114	0,21	1,217	0,586	144,636	0,279
0,75	1675,088	90,545	76,399	1,185	0,21	1,306	0,539	133,090	0,001
0,75	1775,003	95,946	76,399	1,256	0,21	1,399	0,496	122,326	0,331
0,75	1875,000	101,351	76,399	1,327	0,21	1,498	0,456	112,426	0,005

Tabulka 3 Stanovení únosnosti prutů příhradového vazníku 3

$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$	$N_{t,Rd}$ [kN]	$N_{t,Ed} / N_{t,Rd}$	$N_{t,Rd} \geq N_{t,Ed}$	$\lambda < 200$	Využití průřezu
VYHOVUJE	1420	0,516	VYHOVUJE	VYHOVUJE	90,64%
VYHOVUJE	1420	0,171	VYHOVUJE	VYHOVUJE	58,09%
VYHOVUJE	511,2	0,729	VYHOVUJE	VYHOVUJE	72,92%
VYHOVUJE	511,2	0,128	VYHOVUJE	VYHOVUJE	82,67%
VYHOVUJE	369,2	0,462	VYHOVUJE	VYHOVUJE	46,19%
VYHOVUJE	369,2	0,065	VYHOVUJE	VYHOVUJE	83,93%
VYHOVUJE	246,725	0,212	VYHOVUJE	VYHOVUJE	21,25%
VYHOVUJE	246,725	0,138	VYHOVUJE	VYHOVUJE	36,82%
VYHOVUJE	246,725	0,054	VYHOVUJE	VYHOVUJE	24,19%
VYHOVUJE	246,725	0,001	VYHOVUJE	VYHOVUJE	0,09%
VYHOVUJE	246,725	0,040	VYHOVUJE	VYHOVUJE	27,87%
VYHOVUJE	246,725	0,001	VYHOVUJE	VYHOVUJE	0,12%
VYHOVUJE	246,725	0,038	VYHOVUJE	VYHOVUJE	33,07%
VYHOVUJE	246,725	0,009	VYHOVUJE	VYHOVUJE	0,88%

$m_{celk}$ [kg]	2422,783	celková hmotnost vazníku
$m_{sloup}$ [kg]	2531,200	celková hmotnost sloupu v příčné vazbě
$\Sigma$ [kg]	4953,983	celková hmotnost hlavní nosné konstrukce příčné vazby

**Mezní stav použitelnosti**

$\delta_{\text{lim}}$ [mm]	150	limitní hodnota průhybu vazníku není stanovena, ale byla zvolena s přihlédnutím k ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA a k nízkému sklonu střešní roviny (L/200)
$\delta_{\text{Q,lim}}$ [mm]	120	limitní hodnota průhybu vazníku od nahodilého zatížení sněhem dle ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA (L/250)
$\delta_{\text{max}}$ [mm]	70	maximální průhyb vazníku
$\delta_{\text{Q,max}}$ [mm]	27,6	maximální průhyb vazníku
$\delta_{\text{lim}} > \delta_{\text{max}}$	<b>VYHOVUJE</b>	
$\delta_{\text{Q,lim}} > \delta_{\text{Q,max}}$	<b>VYHOVUJE</b>	



## 11. Srovnání variant hlavní nosné konstrukce příčné vazby

Předmětem srovnání je varianta dvoj kloubového rámu a příhradového vazníku. Po stanovení zatížení a návrhu dimenzí jednotlivých hlavních nosných částí jednotlivých konstrukcí byly tyto konstrukce posouzeny. Na základě výsledků je možné porovnat tyto dvě varianty.

Prvním hlediskem, v praxi poměrně důležitým a při hodnocení konstrukcí podstatným, je hmotnost oceli. V případě dvoj kloubového rámu je jeho celková hmotnost 6918 kg, zatímco v případě druhé varianty, a to příhradového vazníku, je jeho celková hmotnost (včetně sloupů) 4954 kg, což je 71,6 % hmotnosti první varianty. Jedná se o rozdíl v hmotnosti 1964 kg na jednu příčnou vazbu. Při 11 příčných vazbách se jedná o rozdíl v hmotnosti 21604 kg, tedy 21,604 tuny.

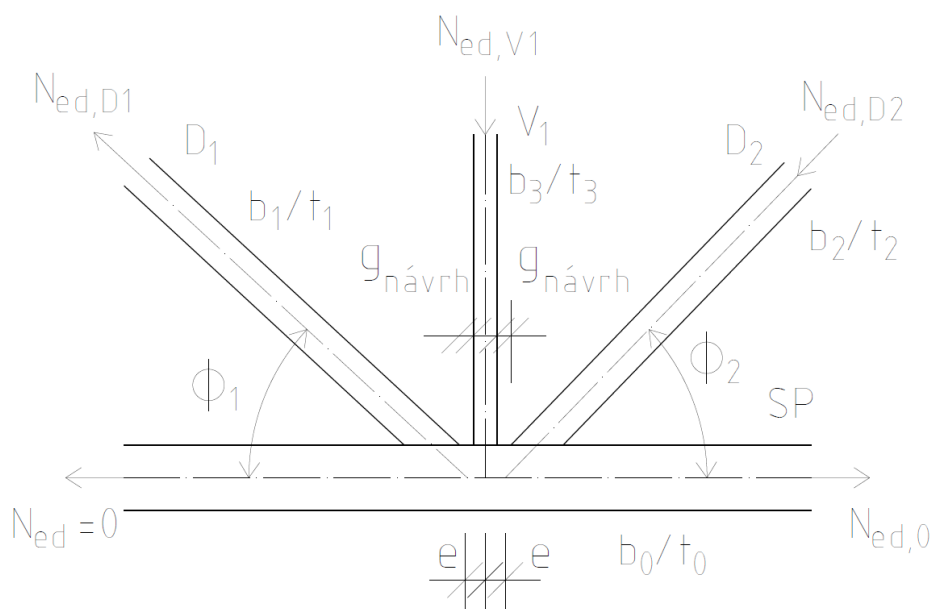
Dalším kritériem při hodnocení jednotlivých variant je jejich pracnost. Je zřejmé, že druhá varianta – příhradový vazník – je pracnější, vyžaduje vyšší náklady také na údržbu (obnovu protikorozi ochrany). Na druhou stranu představuje příhradový vazník konstrukci, která v případě potřeby představuje menší nároky na výměnu jednotlivých nosných prvků.

Po zhodnocení obou variant a jednotlivých kritérií byla zvolena druhá varianta a tedy příhradový vazník.

## 12. Posouzení vybraného styčníku

Jako nejvhodnější pro posouzení styčníku byl vybrán styčník diagonály D1 a D2, svislice V1 a spodního pásu SP, protože přenáší největší namáhání.

Obrázek 10 Schematický pohled na vybraný styčník



### Geometrické parametry vybraného styčníku

$b_0$ [mm]	140	průměr profilu spodního pásu SP
$t_0$ [mm]	8	tloušťka stěny profilu spodního pásu SP
$b_1$ [mm]	80	průměr profilu diagonály D1 (tažená)
$t_1$ [mm]	5	tloušťka stěny profilu diagonály D1
$\phi_1$ [°]	34,22	úhel mezi diagonálou D1 a spodním pásem SP
$g_1$ [mm]	6,81	mezera mezi diagonálou D1 a svislicí
$b_2$ [mm]	80	průměr profilu diagonály D2 (tlačená)
$t_2$ [mm]	5	tloušťka stěny profilu diagonály D2
$\phi_2$ [°]	38,19	úhel mezi diagonálou D2 a spodním pásem SP
$g_2$ [mm]	-0,71	mezera mezi diagonálou D2 a svislicí
$b_3$ [mm]	50	průměr profilu svislice V1
$t_3$ [mm]	4	tloušťka stěny profilu svislice V1
$\phi_3$ [°]	90	úhel mezi svislicí V1 a spodním pásem SP
$g_{\min}$ [mm]	10	minimální mezera mezi profily diagonály a svislice
$g_{\text{navrh}}$ [mm]	30	navržená mezera mezi profily diagonály a svislicí

$e_{\max}$ [mm]	35	maximální excentricita směrem pod neutrální osu pásu dle ČSN EN 1993-1-8 čl. 5.1.5 bod (5)
$\beta_K$ [-]	0,571	poměr šířky mezipásového prutu k šířce pásu pro typ styčnicku K s mezerou
$\beta_{KT}$ [-]	0,5	poměr šířky mezipásového prutu k šířce pásu pro typ styčnicku KT
$\gamma$ [-]	8,75	součinitel poměru šířky spodního pásu k dvojnásobku tloušťky jeho stojiny
$\alpha$ [-]	0,225	součinitel dle ČSN EN 1993-1-8 tabulky 7.12
$A_0$ [mm <sup>2</sup> ]	4000	plocha spodního pásu SP
$A_v$ [mm <sup>2</sup> ]	2492,020	účinná plocha spodního pásu SP dle ČSN EN 1993-1-8 tabulky 7.12

Poloha tažené diagonály a svislice bude upravena tak, aby bylo dodrženo  $g_{\min}$  respektive navržené  $g_{\text{návrh}}$ , které bylo z důvodu splnění podmínky poměru dané mezery a průměru profilu spodního pásu. Daná podmínka je stanovena pro styčnick K a tedy mezeru mezi dvěma diagonálami, ale vzhledem k doplněné stojině musí být splněna i pro vzdálenost mezi diagonálou a svislicí. Excentricita, která touto úpravou bude vytvořena, bude menší než  $e_{\max}$ , takže působení dodatečných momentů vlivem excentricity můžeme zanedbat.

#### **Posouzení geometrie styčnicku v rozsahu platnosti tabulky 7.8 ČSN EN 1993-1-8, styčnick K s mezerou**

$b_1/b_0$	<b>VYHOVUJE</b>
$b_2/b_0$	<b>VYHOVUJE</b>
$b_3/b_0$	<b>VYHOVUJE</b>
$b_0/t_0$	<b>VYHOVUJE</b>
$b_1/t_1$	<b>VYHOVUJE</b>
$b_2/t_2$	<b>VYHOVUJE</b>
$b_3/t_3$	<b>VYHOVUJE</b>
$g_1/b_0$	<b>VYHOVUJE</b>
$g_2/b_0$	<b>VYHOVUJE</b>

#### **Posouzení geometrie styčnicku v rozsahu platnosti tabulky 7.9 ČSN EN 1993-1-8, styčnick K s mezerou**

$(b_1+b_2)/(2*b_2)$	<b>VYHOVUJE</b>
---------------------	-----------------

$b_0/t_0$  **VYHOVUJE**

### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$N_{Ed,0}$ [kN]	533,003	návrhová hodnota normálové síly spodního pásu v místě posuzovaného styčnicku - TAH
$N_{Ed,D1}$ [kN]	372,770	návrhová hodnota normálové síly diagonály D1 - TAH
$N_{Ed,D2}$ [kN]	272,241	návrhová hodnota normálové síly diagonály D2 - TLAK
$N_{Ed,V1}$ [kN]	40,585	návrhová hodnota normálové síly svislice V1 - TLAK

### Porušení povrchu pásu

Při posouzení porušení povrchu pásu byly použity níže uvedené vztahy vycházející z ČSN EN 1993-1-8 tabulky 7.12 a článku 1.5 bodu (5).

$$N_{D2,Rd} = \frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y,0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_2} \cdot \left( \frac{2 \cdot b_1 + 2 \cdot b_2 + 2 \cdot b_3}{6 \cdot b_0} \right) / \gamma_{M5}$$

$$n = \left( \sigma_{0,Ed} / f_{y,0} \right) / \gamma_{M5}$$

$$\text{podmínka 1 } N_{Ed,D2} \cdot \sin \theta_2 + N_{Ed,V1} \cdot \sin \theta_3 \leq N_{D2,Rd} \cdot \sin \theta_2$$

$$\text{podmínka 2 } N_{Ed,D1} \cdot \sin \theta_1 \leq N_{D2,Rd} \cdot \sin \theta_2$$

$\sigma_{0,Ed}$ [MPa]	-156,822	největší tlakové napětí v pásu ve styčnicku
$n$ [-]	-0,442	poměr $(\sigma_{0,Ed} / f_{y,0}) / \gamma_{M5}$
$k_n$ [-]	1	
$N_{D2,Rd}$ [kN]	483,708	
podmínka 1	<b>VYHOVUJE</b>	
podmínka 2	<b>VYHOVUJE</b>	
podmínka 1	69,85%	využití průřezu
podmínka 2	70,09%	využití průřezu

### Porušení pásu smykem

Při posouzení porušení pásu smykem byly použity níže uvedené vztahy vycházející z ČSN EN 1993-1-8 tabulky 7.12.

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y,0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_i} / \gamma_{M5}$$

$$N_{0,Rd} = \left[ (A_0 - A_v) \cdot f_{y,0} + A_v \cdot f_{y,0} \cdot \sqrt{1 - \left( V_{Ed} / V_{pl,Rd} \right)^2} \right] / \gamma_{M5}$$

$N_{0,Rd}$ [kN]	1420,000
$N_{D1,Rd}$ [kN]	908,332
$N_{D2,Rd}$ [kN]	826,095
$N_{V1,Rd}$ [kN]	510,763
$N_{0,Rd} \geq N_{Ed,0}$	<b>VYHOVUJE</b> podmínka spolehlivosti na porušení pásu smykem
$N_{D1,Rd} \geq N_{Ed,D1}$	<b>VYHOVUJE</b> podmínka spolehlivosti na porušení pásu smykem
$N_{D2,Rd} \geq N_{Ed,D2}$	<b>VYHOVUJE</b> podmínka spolehlivosti na porušení pásu smykem
$N_{V1,Rd} \geq N_{Ed,V1}$	<b>VYHOVUJE</b> podmínka spolehlivosti na porušení pásu smykem
$N_{Ed,0} / N_{0,Rd}$	37,54% využití průřezu
$N_{Ed,D1} / N_{D1,Rd}$	41,04% využití průřezu
$N_{Ed,D2} / N_{D2,Rd}$	32,96% využití průřezu
$N_{Ed,V1} / N_{V1,Rd}$	7,95% využití průřezu

### Porušení mezipásového prutu

Při posouzení porušení mezipásového prutu byly použity níže uvedené vztahy vycházející z ČSN EN 1993-1-8 tabulky 7.12.

$$b_{eff,i} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{f_{y,i} \cdot t_i} \cdot b_i \text{ ale } b_{eff,i} \leq b_i$$

$$N_{i,Rd} = f_{y,i} \cdot t_i \cdot (2 \cdot b_i - 4 \cdot t_i + b_i + b_{eff,i}) / \gamma_{M5}$$

$b_{eff,D1}$ [mm]	73,143	účinná šířka přípoje mezipásového prutu k pásu
$b_{eff,D2}$ [mm]	73,143	účinná šířka přípoje mezipásového prutu k pásu
$b_{eff,V1}$ [mm]	50,000	účinná šířka přípoje mezipásového prutu k pásu
$N_{D1,Rd}$ [kN]	520,329	
$N_{D2,Rd}$ [kN]	520,329	
$N_{V1,Rd}$ [kN]	261,280	
$N_{D1,Rd} \geq N_{Ed,D1}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka spolehlivosti na porušení mezipásového prutu
$N_{D2,Rd} \geq N_{Ed,D2}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka spolehlivosti na porušení mezipásového prutu
$N_{V1,Rd} \geq N_{Ed,V1}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka spolehlivosti na porušení mezipásového prutu
$N_{Ed,D1} / N_{D1,Rd}$	71,64%	využití průřezu

$N_{Ed,D2} / N_{D2,Rd}$	52,32% využití průřezu
$N_{Ed,V1} / N_{V1,Rd}$	15,53% využití průřezu

### Prolomení smykem

Při posouzení prolomení smykem byly použity níže uvedené vztahy vycházející z ČSN EN 1993-1-8 tabulky 7.12.

$$b_{e,p,i} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_i \text{ ale } b_{e,p,i} \leq b_i$$

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y,0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \sin \theta_i} \cdot \left( \frac{2 \cdot b_i}{\sin \theta_i} + b_i + b_{e,p,i} \right) / \gamma_{M5}$$

$\beta \leq (1 - 1/\gamma)$	<b>VYHOVUJE</b>	
$b_{e,p,D1}$ [mm]	45,714	účinná šířka při prolomení smykem
$b_{e,p,D2}$ [mm]	45,714	účinná šířka při prolomení smykem
$b_{e,p,V1}$ [mm]	28,571	účinná šířka při prolomení smykem
$N_{D1,Rd}$ [kN]	1196,292	
$N_{D2,Rd}$ [kN]	1019,667	
$N_{V1,Rd}$ [kN]	292,799	
$N_{D1,Rd} \geq N_{Ed,D1}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka spolehlivosti na prolomení smykem
$N_{D2,Rd} \geq N_{Ed,D2}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka spolehlivosti na prolomení smykem
$N_{V1,Rd} \geq N_{Ed,V1}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka spolehlivosti na prolomení smykem
$N_{Ed,D1} / N_{D1,Rd}$	31,16%	využití průřezu
$N_{Ed,D2} / N_{D2,Rd}$	26,70%	využití průřezu
$N_{Ed,V1} / N_{V1,Rd}$	13,86%	využití průřezu

### 13. Vazník - posudek sloupu

Konstrukční ocel S355J0

#### Návrh sloupu - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	17800	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	6580	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	637000000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	94700000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	2900000	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	3220000	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	631000	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	965500	plastický modul průřezu k ose z
$i_y$ [mm]	189,173	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	72,940	poloměr setrvačnosti k ose z
$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	4,15E+12	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	2440000	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	440	výška nosníku
$b$ [mm]	300	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	11,5	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	21	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	27	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
$L$ [mm]	9040	výška sloupu

#### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$N_{Ed}$ [kN]	127,480	návrhová hodnota normálové síly v místě haly bez vestavěného patra
$N_{Ed,vest}$ [kN]	718,697	návrhová hodnota normálové síly včetně vestavěného patra
$V_{Ed}$ [kN]	50,246	návrhová hodnota posouvající síly

$M_{Ed}$ [kNm]	203,321	návrhová hodnota ohybového momentu
$M_{Ed,vest}$ [kNm]	246,385	návrhová hodnota ohybového momentu včetně účinků od napojení stropu vestavěného patra (napojení stropnice s excentricitou $h/2$ )

**Mezní stav použitelnosti**

$\delta_{Q,max}$ [mm]	26,9	maximální průhyb sloupu ve vodorovném směru od zatížení větrem
$\delta_{lim}$ [mm]	36,2	limitní hodnota vodorovného posunu sloupu dle ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA (L/250)
$\delta_{lim} > \delta_{Q,max}$	<b>VYHOVUJE</b>	

**Mezní stav únosnosti****Zatřídění průřezu podle jednotlivých typů namáhání**

	1	třída průřezu stojiny pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu přecházející části pásnice pro tlak dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>1</b>	<b>výsledná třída průřezu pro ohyb</b>
	2	třída průřezu stojiny pro tlak dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>2</b>	<b>výsledná třída průřezu pro tlak</b>
$\alpha$ [-]	0,5454	podíl tlačené části průřezu
	1	třída průřezu stojiny pro tlačnou a ohýbanou část ( $\alpha > 0,5$ )
	1	třída průřezu pásnice pro tlačnou část
	<b>1</b>	<b>výsledná třída průřezu pro tlačnou a ohýbanou část</b>

**Únosnost ve smyku**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ [kN]	1348,632	plastická únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b> posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku	
$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$	3,73%	využití průřezu
<b>BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU</b>		



**Únosnost v ohybu bez ztráty stability**

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$  [kNm]                      1143,1    plastická únosnost v ohybu

$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$                     **VYHOVUJE**    posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu

$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$                       17,79%    využití průřezu

$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed,vest}$                 **VYHOVUJE**    posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu

$M_{Ed,vest} / M_{pl,Rd}$                     21,55%    využití průřezu

**Únosnost ve vzpěrném tlaku**

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$L_{cr,y}$  [m]                              18,08    vzpěrná délka pro vybočení v rovině příčné vazby

$\lambda_y$  [-]                                    95,574    štíhlost k ose y

$\lambda_1$  [-]                                    76,155    štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti

$\bar{\lambda}_y$  [-]                                    1,255    poměrná štíhlost k ose y  
a křivka vzpěrné pevnosti y-y

$\alpha_y$  [-]                                    0,21    součinitel imperfekce k ose y

$\phi_y$  [-]                                    1,398    hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y

$\chi_y$  [-]                                    0,496    součinitel vzpěrnosti k ose y

$L_{cr,z}$  [m]                              9,04    vzpěrná délka pro vybočení z roviny příčné vazby

$\lambda_z$  [-]                                    123,938    štíhlost k ose z

$\lambda_1$ [-]	76,399	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}_z$ [-]	1,622	poměrná štíhlost k ose z b křivka vzpěrné pevnosti z-z
$\alpha_z$ [-]	0,34	součinitel imperfekce k ose z
$\varphi_z$ [-]	2,058	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z
$\chi_z$ [-]	0,301	součinitel vzpěrnosti k ose z
$\chi_{\min}$ [-]	0,301	minimální součinitel vzpěrnosti
$N_{b,Rd}$ [kN]	1901,370	únosnost ve vzpěrném tlaku
$N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka na únosnost ve vzpěrném tlaku
$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	6,70%	využití průřezu
$N_{b,Rd} \geq N_{Ed,vest}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka na únosnost ve vzpěrném tlaku
$N_{Ed,vest} / N_{b,Rd}$	37,80%	využití průřezu

### Únosnost na kombinaci ohybu a osového tlaku

$$N_{Rk} = f_y \cdot A, \quad M_{i,Rk} = f_y \cdot W_{pl,i}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$K_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L_{LT}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{L \cdot k_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right]$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0$$

$$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$$

$$\bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$$

$$\Phi_i = 0,5 \cdot [1 + \alpha_i \cdot (\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2]$$

$$\chi_i = \frac{1}{\Phi_i + \sqrt{\Phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}} \quad \text{ale } \chi_i \leq 1,0$$

Vzpěrná délka na klopení je rovna dvojnásobku délky sloupu, protože jeho tlačená vnitřní pásnice je proti klopení zajištěna pouze v podpoře (vetknutí). Sloup je zajištěn proti vybočení v rovině plné vazby pouze v podpoře (styk sloupu se základovou patkou), kde je vetknut, a z roviny plné vazby v podpoře a ve vrcholu sloupu, kde jsou navrženy příčníky.

$L_{cr,y}$ [m]	18,08	vzpěrná délka v rovině příčné vazby
$L_{LT}$ [m]	18,08	vzpěrná délka na klopení (vzdálenost mezi body zajištěnými proti posunu z roviny)
$L_{cr,z}$ [m]	9,04	vzpěrná délka z roviny příčné vazby
$N_{Rk}$ [kN]	6319	charakteristická hodnota únosnosti v tlaku
$M_{y,Rk}$ [kNm]	1143,1	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y-y
$M_{z,Rk}$ [kNm]	342,753	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose z-z
$C_{mLT}$ [-]	0,6	součinitel $C_m$ ekvivalentního konstantního momentu norma ČSN EN 1993-1-1 příloha B na vzpěrné délce $L_{LT}$
$C_{my}$ [-]	0,9	součinitel $C_m$ ekvivalentního konstantního momentu norma ČSN EN 1993-1-1 příloha B při vybočení s posuvem styčnic
$k_z$ [-]	0,7	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu (na jednom konci prutu je možné natočení průřezu okolo osy menší tuhosti z, druhý konec je vetknutý)
$k_w$ [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v kroucení (deplanaci)

		není ani na jednom konci bráněno)
$K_{wt}$ [-]	0,365	bezrozměrný parametr kroucení
$z_g$ [mm]	220	vzdálenost působíště zatížení od středu smyku
$\zeta_g$ [-]	1,096	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
$C_{1,0}$ [-]	2,33	součinitel tvaru momentového obrazce dle ČSN EN 1993-1-1 národní přílohy NB (tab. NB.3.1)
$C_{1,1}$ [-]	2,68	součinitel tvaru momentového obrazce dle ČSN EN 1993-1-1 národní přílohy NB (tab. NB.3.1)
$C_1$ [-]	2,68	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců norma ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NB
$C_2$ [-]	0	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců
$\mu_{cr}$ [-]	4,075	bezrozměrný kritický moment
$M_{cr}$ [Nmm]	1,404E+09	pružný kritický moment při ztrátě příčné a torzní stability
$\lambda_{LT}$ [-]	0,902	poměrná štíhlost při klopení
	a	křivka klopení (tabulka 6.4 ČSN EN 1993-1-1)
$\alpha_{LT}$ [-]	0,21	součinitel imperfekce při klopení (tabulka 6.3 ČSN EN 1993-1-1)
$\varphi_{LT}$ [-]	0,981	hodnota pro výpočet součinitele klopení $\chi_{LT}$
$\chi_{LT}$ [-]	0,732	součinitel klopení
$\lambda_y$ [-]	95,574	štíhlost k ose y
$\lambda_z$ [-]	123,938	štíhlost k ose z
$\bar{\lambda}_y$ [-]	1,255	poměrná štíhlost k ose y
$\bar{\lambda}_z$ [-]	1,627	poměrná štíhlost k ose z
	a	křivka vzpěrné pevnosti y-y
	b	křivka vzpěrné pevnosti z-z
$\alpha_y$ [-]	0,21	součinitel imperfekce k ose y
$\alpha_z$ [-]	0,34	součinitel imperfekce k ose z
$\varphi_y$ [-]	1,398	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y
$\varphi_z$ [-]	2,067	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z
$\chi_y$ [-]	0,496	součinitel vzpěrnosti k ose y
$\chi_z$ [-]	0,299	součinitel vzpěrnosti k ose z

$\chi_{\min}$ [-]	0,299	minimální součinitel vzpěrnosti
$k_{yy}$ [-]	0,929	součinitel interakce pro pruty náchylné ke zkroucení
$k_{zy}$ [-]	0,981	součinitel interakce pro pruty náchylné ke zkroucení
	0,041	první část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61) - vliv tlakové síly
	0,226	druhá část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61) - vliv ohybového momentu
	<b>0,266</b>	<b>kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61)</b>
	0,067	první část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62) - vliv tlakové síly
	0,238	druhá část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62) - vliv ohybového momentu
	<b>0,306</b>	<b>kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62)</b>
	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61)
	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62)
s vestavbou	0,229	první část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61) - vliv tlakové síly
s vestavbou	0,273	druhá část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61) - vliv ohybového momentu
s vestavbou	<b>0,503</b>	<b>kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61)</b>
s vestavbou	0,380	první část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62) - vliv tlakové síly
s vestavbou	0,289	druhá část vzorce dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62) - vliv ohybového momentu
s vestavbou	<b>0,669</b>	<b>kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62)</b>
s vestavbou	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.61)

s vestavbou      **VYHOVUJE**      posouzení kombinace ohybu a osového tlaku dle ČSN  
EN 1993-1-1 článek 6.3.3 (6.62)

## 14. Vazník - posudek patky

### Sloup - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$f_u$ [MPa]	510	napětí na mezi pevnosti
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$\gamma_{M2}$ [-]	1,25	dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	17800	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	6580	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	637000000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	94700000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	2900000	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	3220000	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	631000	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	965500	plastický modul průřezu k ose z
$i_y$ [mm]	189,173	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	72,940	poloměr setrvačnosti k ose z
$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	4,15E+12	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	2440000	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	440	výška nosníku
$b$ [mm]	300	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	11,5	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	21	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	27	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
$L$ [mm]	9040	výška sloupu

### Návrhové hodnoty vnitřních sil v patě sloupu

	<b>Tlak</b>	<b>Tah</b>
$N_{Ed}$ [kN]	-289,021	37,105
	návrhová hodnota normálové síly v místě haly bez vestavěného patra	

$N_{Ed,vest}$ [kN]	-880,238	-554,112	návrhová hodnota normálové síly včetně vestavěného patra
$V_{Ed}$ [kN]	19,319	36,245	návrhová hodnota posouvající síly
$M_{Ed}$ [kNm]	90,7467	67,185	návrhová hodnota ohybového momentu
$M_{Ed,vest}$ [kNm]	133,811	110,249	návrhová hodnota ohybového momentu včetně účinků od napojení stropu vestavěného patra (napojení stropnice s excentricitou $h/2$ )

### Podélné výztuhy

Profil podélné výztuhy	U280
Beton patky	C16/20

### Návrh betonové patky

$$A_{eff,nut} = \frac{N_{max}}{\sigma_D}$$

$$e = \frac{M_{max} + V_{max} \cdot h_{patka}}{N_{max}}$$

$$A_{eff,skut} = (a_{patka} - 2 \cdot e) \cdot b_{patka}$$

$$\sigma_{skut} = \frac{N_{celkové}}{A_{eff,skut}}$$

### Návrh betonové patky v místě sloupů nesoucích také vložené patro

$\sigma_D$ [MPa]	0,3	největší dovolené napětí v základové spáře (na základě geologického průzkumu)
$A_{eff,nut}$ [mm <sup>2</sup> ]	2934126,75	minimální nutná plocha základu
$e$ [mm]	169,575	excentricita zatížení
$h_{patka}$ [mm]	800	výška betonové patky
$a_{patka}$ [mm]	2600	délka betonové patky
$b_{patka}$ [mm]	1800	šířka betonové patky
$A_{eff,skut}$ [mm <sup>2</sup> ]	4069530,95	skutečná efektivní plocha základu
$N_{patka}$ [kN]	126,360	návrhová hodnota vlastní tíha betonové patky
$N_{pat,plech}$ [kN]	3,526	návrhová hodnota vlastní tíha patního plechu včetně podélných výztuh



$N_{\text{celkové}} \text{ [kN]}$	1010,124	celková návrhová hodnota tíhy v základové spáře
$\sigma_{\text{skut}} \text{ [MPa]}$	0,248	skutečná napětí pod základovou spárou
$\sigma_{\text{skut}} \leq \sigma_D$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka napětí v základové spáře

### Návrh betonové patky v místě sloupů bez vloženého patra

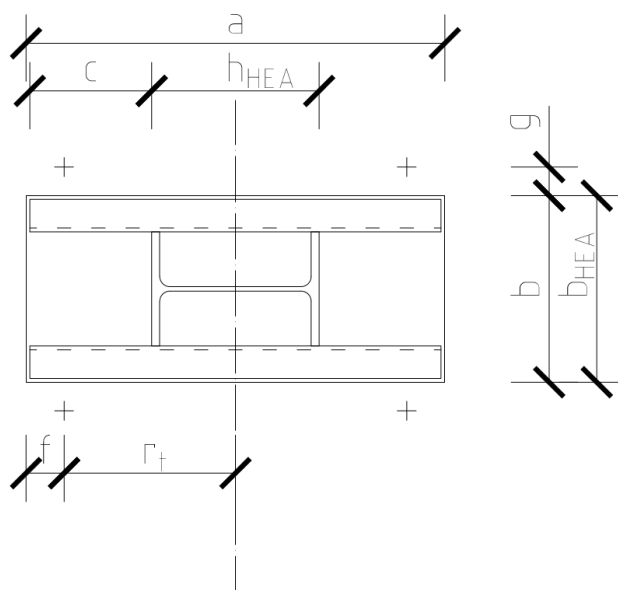
$\sigma_D \text{ [MPa]}$	0,3	největší dovolené napětí v základové spáře (na základě geologického průzkumu)
$A_{\text{eff,nut}} \text{ [mm}^2\text{]}$	963404,750	minimální nutná plocha základu
$e \text{ [mm]}$	367,453	excentricita zatížení
$h_{\text{patka}} \text{ [mm]}$	800	výška betonové patky
$a_{\text{patka}} \text{ [mm]}$	2600	délka betonové patky
$b_{\text{patka}} \text{ [mm]}$	1800	šířka betonové patky
$A_{\text{eff,skut}} \text{ [mm}^2\text{]}$	3357167,826	skutečná efektivní plocha základu
$N_{\text{patka}} \text{ [kN]}$	126,360	návrhová hodnota vlastní tíha betonové patky
$N_{\text{pat,plech}} \text{ [kN]}$	3,526	návrhová hodnota vlastní tíha patního plechu včetně podélných výztuh
$N_{\text{celkové}} \text{ [kN]}$	418,908	celková návrhová hodnota tíhy v základové spáře
$\sigma_{\text{skut}} \text{ [MPa]}$	0,125	skutečná napětí pod základovou spárou
$\sigma_{\text{skut}} \leq \sigma_D$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka napětí v základové spáře

V místě sloupu nezatíženého vloženým patrem působí menší normálová síla v patě sloupu, která tímto méně vzdoruje ohybovému momentu, proto dochází k nárustu excentricity a snížení efektivní plochy základové patky. Přesto je ale celkový účinek na základovou půdu v místě základové spáry při návrhu stejných rozměrů základových patek pro oba případy (s a bez vestavěného patra) menší. V další části posoudíme velikost sil působících v kotevních šroubech pro oba dva případy.

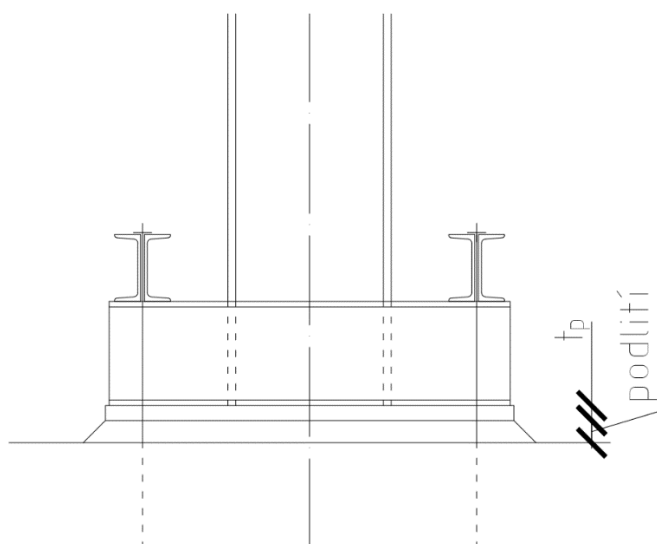
### Geometrie patky a patního plechu

Průřez ocelové patky je tvořen patním plechem a dvěma výstuhami rovnoběžnými s plnou vazbou, tedy kolmými na podélný směr haly. Průřez působí jako konzola k okrajům profilu sloupu. Průřez je namáhán silou v kotevních šroubech T a silou mezi betonem a ocelí  $N_c$ .

Obrázek 11 Schematický půdorys ocelové vetknuté patky



Obrázek 12 Schematický boční pohled na ocelovou vetknutou patku

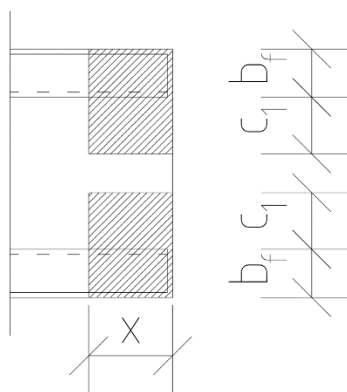


$a$ [mm]	1100 délka patního plechu
$b$ [mm]	490 šířka patního plechu
$t_p$ [mm]	40 tloušťka patního plechu
$h_{HEA}$ [mm]	440 výška sloupu
$b_{HEA}$ [mm]	300 šířka pásnice sloupu
$h$ [mm]	280 výška průřezu podélné výztuhy
$b_f$ [mm]	95 šířka podélné výztuhy
$A_v$ [mm <sup>2</sup> ]	5330 plocha podélné výztuhy
$A_{vz,v}$ [mm <sup>2</sup> ]	2928 plocha stěny podélné výztuhy ve smyku

$I_{y,v}$ [mm <sup>4</sup> ]	62800000	moment setrvačnosti podélné výztuhy k ose y
$r_t$ [mm]	450	vzdálenost osy sloupu od kotevních šroubů
$c$ [mm]	330	délka přečnívající části podélné výztuhy mimo sloup
$f$ [mm]	100	vzdálenost osy kotevního šroubu od konce patního plechu v podélném směru
$g$ [mm]	75	vzdálenost osy kotevního šroubu od konce patního plechu v příčném směru
$h_{podlití}$ [mm]	60	výška podlití
$< 0,2 \cdot \min(a,b)$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka na výšku podlití
$> 0,1 \cdot \min(a,b)$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka na výšku podlití

### Materiál patky a započitatelné rozměry patky

Obrázek 13 Schéma efektivní šířky patního plechu



$$a_1 = \min(a_{patka}; 5 \cdot a; a + h_{patka}; 5 \cdot b)$$

$$b_1 = \min(b_{patka}; 5 \cdot b; b + h_{patka}; 5 \cdot a)$$

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} \quad \beta_j = \frac{2}{3}$$

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$c_1 = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot \gamma_{M0} \cdot f_{jd}}}$$

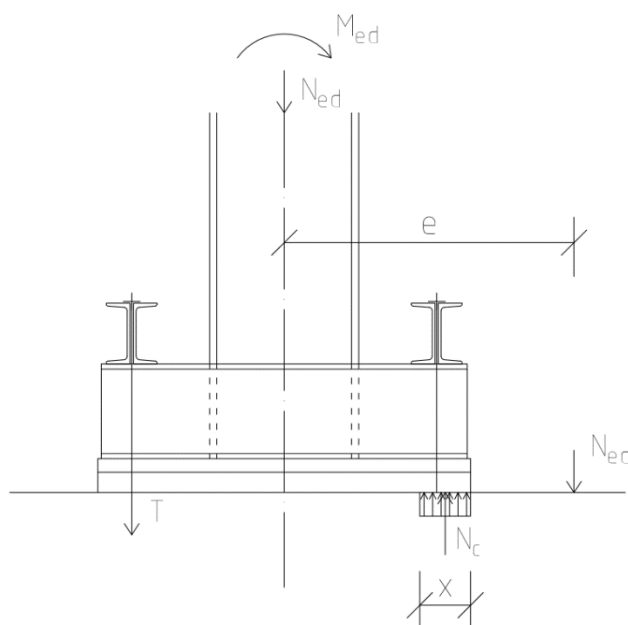
$f_{ck}$  [Mpa] 16 charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku

$\gamma_c$  [-] 1,5 součinitel spolehlivosti pro beton

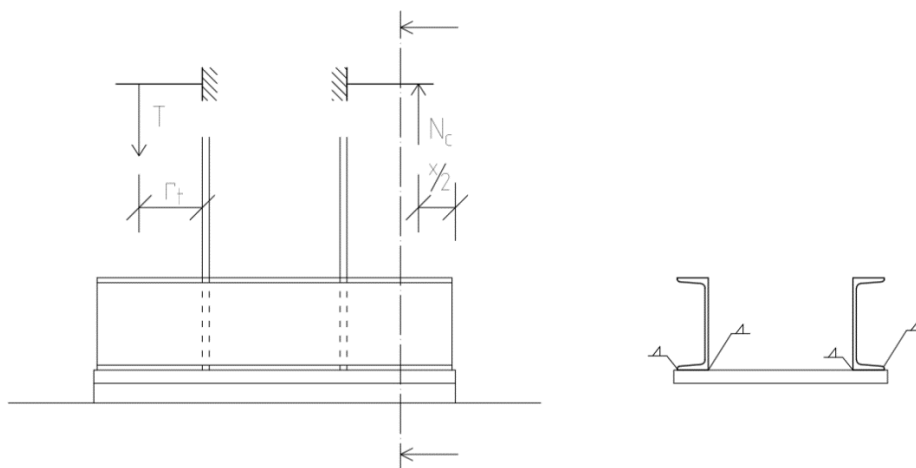
$a_1$ [mm]	1900	započitatelný rozměr délky patky
$b_1$ [mm]	1290	započitatelný rozměr šířky patky
$k_j$ [-]	2,132	součinitel koncentrace napětí
$\beta_j$ [-]	0,667	součinitel
$f_{jd}$ [MPa]	15,164	návrhová pevnost betonu v tlaku
$c_1$ [mm]	111,739	funkční přesah patky
$b_{eff}$ [mm]	413,479	efektivní šířka patního plechu

### Výpočet sil do kotevních šroubů

Obrázek 14 Schematické znázornění působení vnitřních sil na patce



Obrázek 15 Schéma vnitřních sil působících na patce a svari



$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

$$N_{Ed} \cdot (e + r_t) = N_c \cdot \left( r_t + \frac{a}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$N_c = b_{eff} \cdot x \cdot f_{jd}$$

$$b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x^2 - b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_t + a) \cdot x + 2 \cdot N_{Ed} \cdot (e + r_t) = 0$$

$$T = N_c - N_{Ed}$$

$$A = b_{eff} \cdot f_{jd}$$

$$B = b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_t + a)$$

$$C = 2 \cdot N_{Ed} \cdot (e + r_t)$$

$$x_{1,2} = -B \pm \sqrt{(B^2 - 4 \cdot A \cdot C)} / (2 \cdot A)$$

#### V případě sloupů bez přitížení vestavěným patrem

	Tlak	Tah
$N_{Ed}$ [kN]	289,021	-37,105
$M_{Ed}$ [kNm]	90,747	67,185
$e$ [mm]	313,979	-1,811
A	6270,005	6270,005
B	-12540010,27	-12540010,27
C	441612682,50	-33260130,00
$x_1$ [mm]	1964,141	2002,649
$x_2 = x$ [mm]	35,859	-2,649
$N_c$ [kN]	224,838	-16,608
T [kN]	-64,184	20,497

#### V případě sloupů s vestavěným patrem

	Tlak	Tah
$N_{Ed,vest}$ [kN]	880,238	-37,105
$M_{Ed,vest}$ [kNm]	133,811	110,249
$e$ [mm]	152,017	-2,971
A	6270,005	6270,005
B	-12540010,27	-12540010,3

C	1059836082	-33174001,5
$x_1$ [mm]	1911,574	2002,642
$x_2 = x$ [mm]	88,426	-2,642
$N_c$ [kN]	554,431	-16,565
$T$ [kN]	-325,807	20,540

### Průřezové charakteristiky ocelové patky

$$z_T = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{A}$$

$$I_y = \sum (I_{y,i} + A \cdot (z_i - z_T)^2)$$

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{h + t_p - z_T}$$

$$W_{y,d} = \frac{I_y}{z_T}$$

Tabulka 4 Průřezové charakteristiky ocelové patky

Profil	A [mm <sup>2</sup> ]	z <sub>i</sub> [mm]	I <sub>y,i</sub> [mm <sup>4</sup> ]	A * z <sub>i</sub> [mm <sup>3</sup> ]	A * (z <sub>i</sub> - z <sub>T</sub> ) <sup>2</sup> [mm <sup>4</sup> ]
<b>Patní plech</b>	19600	20	2613333,3	392000	62269101,43
<b>U 280</b>	5330	180	62800000	959400	57245515,38
<b>U 280</b>	5330	180	62800000	959400	57245515,38
<b>Σ</b>	30260		128213333	2310800	176760132,2

$z_T$  [mm] 76,365 zetová souřadnice těžiště svařeného průřezu od spodní hrany patního plechu

$I_y$  [mm<sup>4</sup>] 304973465,5 moment setrvačnosti svařeného průřezu

$W_{y,h}$  [mm<sup>3</sup>] 1251762,936 elastický průřezový modul k horním vláknům svařeného průřezu

$W_{y,d}$  [mm<sup>3</sup>] 3993637,297 elastický průřezový modul k dolním vláknům svařeného průřezu

### Posouzení průřezu ocelové patky

$$M_P = N_c \cdot \left( c - \frac{x}{2} \right)$$

$$V_P = N_c$$

$$M_L = T \cdot (c - f)$$

$$V_L = T$$

$$\sigma_{h,max} = \frac{M_P}{W_{y,h}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\tau_{max} = \frac{V_P}{A_{vz}} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$\tau_{max} = \frac{2 \cdot V_P}{A_{vz}} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_P}{I_y} \cdot (t_p + h - z_T)$$

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_{max}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Tabulka 5 Posouzení průřezu ocelové patky

	s vloženým patrem		bez vloženého patra	
	Tlak	Tah	Tlak	Tah
<b>M<sub>P</sub> [kNm]</b>	158,449	-5,488	70,165	-5,503
<b>V<sub>P</sub> [kN]</b>	554,431	-16,565	224,838	-16,608
<b>M<sub>L</sub> [kNm]</b>	-74,936	4,724	-14,762	4,714
<b>V<sub>L</sub> [kN]</b>	-325,807	20,540	-64,184	20,497
<b>σ<sub>h,max</sub> [MPa]</b>	126,581	-4,385	56,053	-4,396
<b>f<sub>y</sub>/γ<sub>M0</sub> [MPa]</b>	355	355	355	355
<b>σ<sub>h,max</sub> ≤ f<sub>y,d</sub></b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>
	35,66%	1,24%	15,79%	1,24%
<b>τ<sub>max</sub> [MPa]</b>	94,677	-2,829	38,394	-2,836
<b>f<sub>y</sub>/(√3*γ<sub>M0</sub>) [MPa]</b>	204,959	204,959	204,959	204,959
<b>τ<sub>max</sub> ≤ f<sub>y,d</sub></b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>
	46,19%	1,38%	18,73%	1,38%
	<b>MALÝ SMYK</b>	<b>MALÝ SMYK</b>	<b>MALÝ SMYK</b>	<b>MALÝ SMYK</b>
<b>σ<sub>2</sub> [MPa]</b>	-	-	-	-
<b>σ<sub>h,max,celk</sub> [MPa]</b>	-	-	-	-
<b>σ<sub>h,max,celk</sub> ≤ f<sub>y,d</sub></b>	-	-	-	-
	-	-	-	-

M<sub>P</sub> [kNm]

ohybový moment na tlačené straně patky

$V_P$ [kN]	posouvající síla na tlačené straně patky
$M_L$ [kNm]	ohybový moment na tažené straně patky
$V_L$ [kN]	posouvající síla na tažené straně patky
$\sigma_{h,max}$ [MPa]	maximální normálové napětí v horních vláknech ocelové patky
$f_y/\gamma_{M0}$ [MPa]	mezni dovolené normálové napětí v oceli
$\tau_{max}$ [MPa]	maximální smykové napětí v horních vláknech ocelové patky
$f_y/(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$ [MPa]	mezni dovolené smykové napětí v oceli
$\sigma_2$ [MPa]	napětí v bodě 2 - horní vlákna průřezu ocelové patky
$\sigma_{h,max,celk}$ [MPa]	výsledné napětí při kombinaci ohybu a smyku

### Připojení podélných výztuh k patnímu plechu

Podélné výztuhy ocelové základové patky jsou k patnímu plechu přivařeny krčnými svary po obou stranách pásnic podélných výztuh po celé jejich délce. Svary budou posouzeny v kritických řezech a to v líci nosníku sloupu (řez 1-1) a na konci ocelové patky (řez 2-2).

### Návrh svaru

$$I_{we} = \frac{4}{12} \cdot a_{we} \cdot L_s^3$$

$$S_{f,y} = b \cdot t_p \cdot \left( z_T - \frac{t_p}{2} \right)$$

$a_{we}$  [mm] 4 účinná výška svaru

$L_s$  [mm] 1100 délka svaru

$A_{we}$  [mm<sup>2</sup>] 17600 celková plocha svaru výztuh

$I_{we}$  [mm<sup>4</sup>] 1774666667 moment setrvačnosti svaru

$S_{f,y}$  [mm<sup>3</sup>] 1104750,826 statický moment patního plechu v místě svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_P \cdot S_{f,y}}{4 \cdot I_y \cdot a_{we}}$$

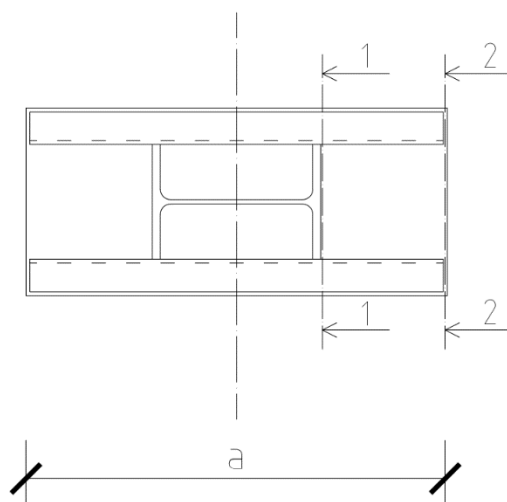
$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed} \cdot x_i}{I_{we}}$$

$$\tau_f = \sigma_f = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_{výsledné} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot (\tau_f^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$



Obrázek 16 Schematické znázornění řezů pro posouzení svaru

**Posouzení svaru v řezu 1-1**

Tabulka 6 Posouzení svaru v řezu 1-1

	s vloženým patrem		bez vloženého patra	
	Tlak	Tah	Tlak	Tah
$x_l$ [mm]	220	220	220	220
$\tau_l$ [MPa]	126,623	5,810	52,002	5,819
$\sigma_{we}$ [MPa]	66,602	45,151	27,671	10,437
$\tau_F$ [MPa]	47,094	31,926	19,567	7,380
$\sigma_F$ [MPa]	47,094	31,926	19,567	7,380
$\sigma_{\text{výsledné}}$ [MPa]	238,687	64,641	98,203	17,873
$\beta_w$ [-]	0,9	0,9	0,9	0,9
$f_u/(\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	315,556	315,556	315,556	315,556
	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>
	75,64%	20,48%	31,12%	5,66%

$x_l$ [mm]	vzdálenost posuzovaného řezu od osy patky
$\tau_l$ [MPa]	smykové napětí rovnoběžné s osou svaru
$\sigma_{we}$ [MPa]	normálové napětí ve svaru
$\tau_F$ [MPa]	smykové napětí kolmé na osu svaru
$\sigma_F$ [MPa]	normálové napětí kolmé na osu svaru
$\sigma_{\text{výsledné}}$ [MPa]	výsledné napětí ve svaru
$\beta_w$ [-]	korekční součinitel koutových svarů dle ČSN EN 1993-1-8 tabulka 4.1
$f_u/(\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	mezní dovolené napětí ve svaru

**Posouzení svaru v řezu 2-2**

Tabulka 7 Posouzení svaru v řezu 2-2

	s vloženým patrem		bez vloženého patra	
	Tlak	Tah	Tlak	Tah
$x_2$ [mm]	550	550	550	550
$\tau_l$ [MPa]	1,098	2,059	1,098	2,059
$\sigma_{we}$ [MPa]	91,484	65,652	44,546	22,930
$\tau_F$ [MPa]	64,689	46,423	31,499	16,214
$\sigma_F$ [MPa]	64,689	46,423	31,499	16,214
$\sigma_{výsledné}$ [MPa]	129,392	92,914	63,026	32,624
$\beta_w$ [-]	0,9	0,9	0,9	0,9
$f_u/(\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	315,556	315,556	315,556	315,556
	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>	<b>VYHOVUJE</b>
	41,00%	29,44%	19,97%	10,34%

$x_2$ [mm]	vzdálenost posuzovaného řezu od osy patky
$\tau_l$ [MPa]	smykové napětí rovnoběžné s osou svaru
$\sigma_{we}$ [MPa]	normálové napětí ve svaru
$\tau_F$ [MPa]	smykové napětí kolmé na osu svaru
$\sigma_F$ [MPa]	normálové napětí kolmé na osu svaru
$\sigma_{výsledné}$ [MPa]	výsledné napětí ve svaru
$\beta_w$ [-]	korekční součinitel koutových svarů dle ČSN EN 1993-1-8 tabulka 4.1
$f_u/(\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	mezní dovolené napětí ve svaru

**Kotevní šrouby**

Šroub s kotevní hlavou M48x3

$$N_{t,sd,max} = \frac{((b_f + g + \Delta) \cdot 2 + b_{HEA}) \cdot T_1}{(b_{HEA} + 2 \cdot (b_f + g))}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,8 \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$d$ [mm]	48 průměr dřívku šroubu
$\Delta$ [mm]	20 tolerance v osazení šroubu
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	1604 plocha jádra šroubu

$T_{\max}$ [kN]	20,540	maximální tahová síla v místě ocelové patky na jedné straně patky (2 šrouby)
$T_1$ [kN]	10,270	tahová síla v teoretické podpoře pro výpočet sil ve šroubech
$N_{t,sd,max}$ [kN]	10,912	maximální tahová síla ve šroubu způsobená vlivem tolerance
$N_{t,sd,min}$ [kN]	9,628	minimální tahová síla ve šroubu způsobená vlivem tolerance
$F_{t,Rd}$ [kN]	455,536	únosnost na přetrhnutí šroubu
$N_{t,sd,max} \leq F_{t,Rd}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka na únosnost šroubu proti přetrhnutí 2,40% využití šroubu

### Kotevní příčník

Kotevní příčník je tvořen dvěma nosníky profilu U80.

$A_{př}$ [mm <sup>2</sup> ]	1100	plocha průřezu
$A_{vz,př}$ [mm <sup>2</sup> ]	510	plocha stěny ve smyku
$W_{pl,y,př}$ [mm <sup>3</sup> ]	31800	plastický modul průřezu k ose y
$h_{př}$ [mm]	80	výška nosníku
$b_{př}$ [mm]	45	šířka pásnice
$t_{w,př}$ [mm]	6	tloušťka stojiny
$t_{f,př}$ [mm]	8	tloušťka pásnice
$r_{př}$ [mm]	8	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
	1	třída průřezu stojiny pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu přecházející části pásnice pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2

### 1 výsledná třída průřezu pro ohyb

### Návrhové hodnoty vnitřních sil příčníku

$$V_{ad} = N_{t,sd,max}$$

$$V_{bd} = N_{t,sd,min}$$

$$M_{ad} = V_{ad} \cdot (b_f + g + \Delta)$$

$$M_{bd} = V_{bd} \cdot (b_f + g - \Delta)$$

$V_{ad}$ [kN]	10,912
$M_{ad}$ [kNm]	2,073
$V_{bd}$ [kN]	9,628
$M_{bd}$ [kNm]	1,444

### Únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{2 \cdot A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ [kN]	209,059	plastická únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd} \geq V_{ad}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku
$V_{ad} / V_{pl,Rd}$	5,22%	využití průřezu
BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU		

### Únosnost v ohybu bez ztráty stability

Vzdálenost působíště síly od podpory je natolik malá, že vliv klopení zanedbáváme. Únosnost v ohybu bez ztráty stability byla stanovena na základě následujících vztahů dle ČSN EN 1993-1-1 článku 6.2.5.

$$M_{pl,Rd} = \frac{2 \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$ [kNm]	22,578	plastická únosnost v ohybu
$M_{pl,Rd} \geq M_{ad}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{ad} / M_{pl,Rd}$	9,18%	využití průřezu

### Přenos vodorovné posouvající síly do betonové patky

Rozhodující kombinací zatížení při nejmenší svislé reakci a momentě v patce je kombinase, kdy dochází k tahovému namáhání sloupu.

$$N_{c+} = \frac{U_{\%} \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pos} = \mu \cdot (N_{c+} + N_c)$$

$V_{max}$ [kN]	36,245
$N_{max}$ [kN]	37,105

$N_c$ [kN]	-16,787	
$N_{c+}$ [kN]	284,71	vliv utáhnutí šroubů
$\mu$ [-]	0,2	součinitel tření mezi betonem a ocelí
$U_{\%}$ [-]	0,5	% utáhnutí šroubů (0 - 1)
$V_{pos}$ [kN]	53,620	
$V_{max} \leq V_{pos}$	<b>VYHOVUJE</b>	

## 15. Ztužení haly

Přenos vodorovných účinků zatížení působícího na halu v příčném směru je zajištěn vetknutými sloupy a byl zahrnut do účinků zatížení působícího na sloupy. V místě hlav sloupů je navržen také příčník, jehož úlohou je přenést tlakové síly působící ve vodorovné rovině v podélném směru až do místa podélného ztužení haly. Střešní ztužidla jsou navržena jako tahová (tlačená diagonála bude uvažována jako vybočená a tedy nepřenášející žádné zatížení), tvořená dvěma diagonálami, z kruhového plného profilu, navržené na maximální tahovou sílu. Ztužení v podélném směru je zajištěno diagonálami, které přenáší účinky vyvozené vodorovně působícími silami. Navržena byla dvě podélná ztužidla umístěná po jednom v podélné stěně přibližně uprostřed rozpětí haly. Tvořené je dvěma diagonálami vzájemně se křížícími (jedna diagonála je navržena jako průběžná a druhá, tvořená dvěma částmi, je připevněna k průběžné diagonále pomocí styčnickového plechu). Samotné diagonály byly navrženy jako trubky čtvercového profilu tažené za tepla.

Vliv imperfekcí haly bude zaveden počátečním natočením sloupů  $\Phi$ , jehož hodnota je  $\Phi = 1/200$ . Účinek natočení bude ve výpočtu nahrazen dvojicí vodorovných sil s ekvivalentním účinkem  $H_{\Phi} = \Phi \cdot \Sigma N$ . V našem případě je vliv imperfekcí sloupu shodný v podélném i příčném směru. Přenos zatížení vyvolaného vlivem imperfekcí z příčné vazby je zajištěn podélnými ztužidly a příčníky po obou stranách haly. Vliv podélného větru, který vyvoluje větší vodorovné účinky zatížení na štítové stěny, byl do výpočtu zahrnut jako vodorovná výslednice působící v hlavě krajního sloupu. Součet účinků větru působícího na štítové stěny haly – vliv větru vyvoluje na návětrné štítové stěně tlak a na závětrné straně tah, takže výsledný účinek je součet obou působení. Tah vyvozený působením větru na štítovou stěnu není možné zanedbat, protože tvoří cca třetinu celkového účinku větru v podélném směru. Příčník byl navrhnout z trubky čtvercového profilu tažené za tepla, styk příčníku a sloupu byl navržen kloubový.

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$L$ [m]	9,04	výška sloupu
$L_p$ [m]	6	vzdálenost příčných vazeb
$N_{ed,1}$ [kN]	117,412	návrhová hodnota vodorovně působící síly vyvozené působením větru

$H_{d,\Phi}$ [kN]	17,136	celková návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil působící v podélném směru na posuzované ztužidlo
$N_{ed,celk}$ [kN]	134,548	celková návrhová hodnota vodorovné síly k přenesení ztužidlem

**Střešní ztužidla haly**

$L_z$ [m]	7,512	délka ztužidla
$\phi_1$ [°]	36,99	úhel mezi diagonálou a průvlakem
$N_{ed}$ [kN]	168,455	návrhová hodnota normálové síly ztužidla
$d$ [mm]	25	průměr ocelové tyče
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	490,874	plocha ocelové tyče

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$ [kN]	174,260	návrhová plastická únosnost v tahu
$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v tahu
$N_{Ed} / N_{t,Rd}$	96,67%	využití průřezu

**Diagonála působící v tlaku**

Při stanovení vzpěrné délky ztužidla namáhaného na tlak nebyl zohledněn stabilitní účinek ztužidla namáhaného na tah, které stabilizuje styčník v polovině délky tlačенého ztužidla a brání vybočení z roviny tvořené ztužidly. Místo tohoto byla zohledněna tuhost styčnicků v místech spojení ztužidla se sloupem, a to součinitelem (poměrem vzpěrné délky ke skutečné délce) 0,9. Přestože jsou styčníky ztužidel navrženy jako kloubové, není ekonomické zanedbat jejich tuhost. I přes zmenšení vzpěrné délky o 10 % je návrh díky zanedbání stabilitních účinků taženého ztužidla na straně bezpečné.

$L_z$ [m]	7,810	délka ztužidla
$\phi_1$ [°]	39,81	úhel mezi diagonálou a průvlakem
$N_{ed}$ [kN]	175,142	návrhová hodnota normálové síly ztužidla
Profil ztužidla	SHS120x120x6	

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi \leq 1,0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$N_{c,Ed}$ [kN]	175,142	návrhová hodnota tlakové síly
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	2640	plocha průřezu
$I$ [mm <sup>4</sup> ]	5620000	moment setrvačnosti k osám průřezu
$i$ [mm]	46,1	poloměr setrvačnosti k osám průřezu
$L$ [mm]	7810,24968	délka příčnicku
$L_{cr}/L$	0,9	zvolena s ohledem na tuhost koncových styčníků, které jsou navrženy jako kloubové, ale není ekonomické zanedbat jejich tuhost
$L_{cr}$ [mm]	7029,225	vzpěrná délka pro vybočení v rovině příčnicku
$\lambda$ [-]	152,478	štíhlost
$\lambda_1$ [-]	76,399	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}$ [-]	1,996	poměrná štíhlost <b>a</b> křivka vzpěrné pevnosti
$\alpha$ [-]	0,21	součinitel imperfekce
$\varphi$ [-]	2,680	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
$\chi$ [-]	0,224	součinitel vzpěrnosti
$N_{c,Rd}$ [kN]	209,706	návrhová vzpěrná únosnost tlačeního prutu
$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka spolehlivosti tlačeního průřezu na vzpěr
$N_{c,Ed} / N_{c,Rd}$	83,52%	využití průřezu

### Příčník

Profil příčnicku SHS100x100x6

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$



$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ale } \chi \leq 1,0$$

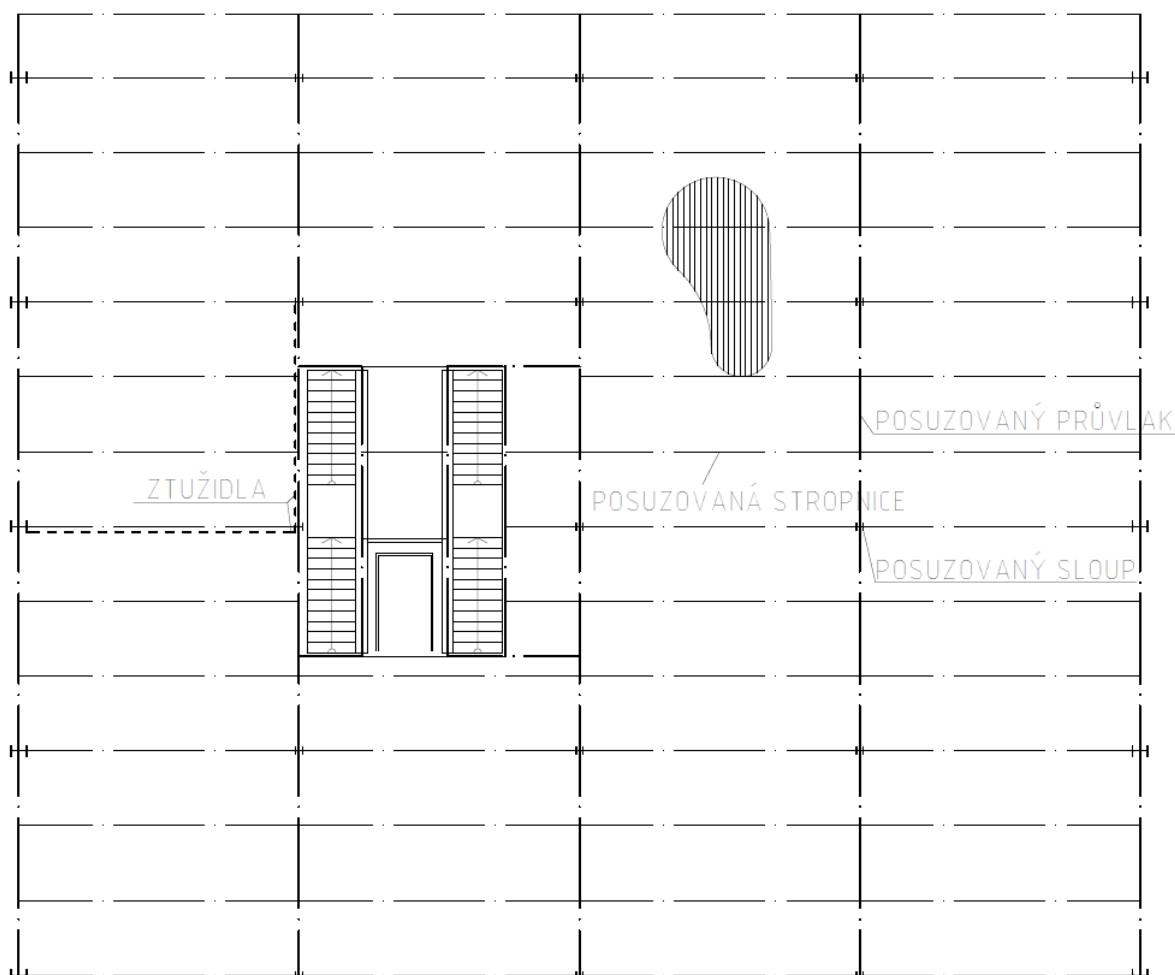
$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$N_{c,Ed}$ [kN]	134,548	návrhová hodnota tlakové síly
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	2160	plocha průřezu
$I$ [mm <sup>4</sup> ]	3110000	moment setrvačnosti k osám průřezu
$i$ [mm]	37,9	poloměr setrvačnosti k osám průřezu
$L$ [mm]	6000	délka příčnicku
$L_{cr}/L$	1	
$L_{cr}$ [mm]	6000	vzpěrná délka pro vybočení v rovině příčnicku
$\lambda$ [-]	158,311	štíhlost
$\lambda_1$ [-]	76,399	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}$ [-]	2,072	poměrná štíhlost a křivka vzpěrné pevnosti
$\alpha$ [-]	0,21	součinitel imperfekce
$\varphi$ [-]	2,844	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti
$\chi$ [-]	0,209	součinitel vzpěrnosti
$N_{c,Rd}$ [kN]	160,057	návrhová vzpěrná únosnost tlačného prutu
$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka spolehlivosti tlačného průřezu na vzpěr
$N_{c,Ed} / N_{c,Rd}$	84,06%	využití průřezu

## 16. Ocelobetonový strop - stropnice

Strop nad 1.NP je tvořen ocelovými průvlaky, stropnicemi, trapézovým plechem a betonovou deskou. Trapézový plech je uložen na stropnicích jako spojitý nosník o 3 polích. Využití 2.NP bylo navrženo jako administrativní část s možností výstavby přemístitelných příček s vlastní tíhou  $\leq 2,0$  kN/m - značky Rigips. Podlaha je tvořena vrstvou anhydridu tl. 30 mm, podlahovým topením tl. 20 mm a tepelnou izolací tl. 50 mm, sloužící jako zvuková izolace pro dosažení dostatečné kročejové neprůzvučnosti – přestože se jedná o halovou stavbu, její využití bylo stanoveno jako multifunkční a není tedy možné předjímat, zda kročejová neprůzvučnost bude či nebude mít významný vliv na výsledné užívání.

*Obrázek 17 Schematický půdorys nosné kce stropu s vyznačením posuzovaných prvků*

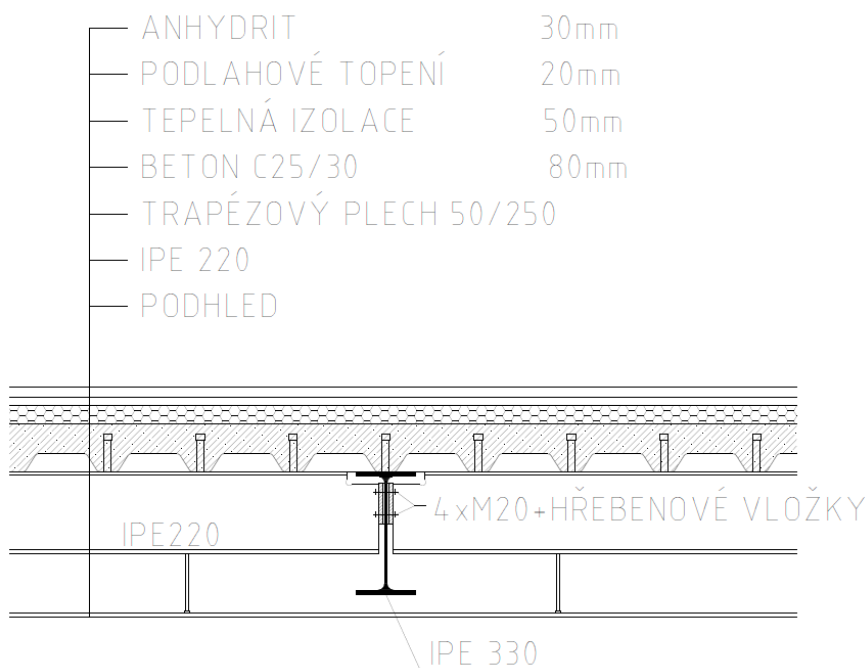


Konstrukční ocel                      S355J0

Beton                                      C25/30

**Základní rozměry nosné konstrukce stropu**

$L_s$ [m]	7,5	délka stropnice
$L_p$ [m]	6	délka průvlaku
$L_m$ [m]	2	osová vzdálenost stropnic
$h_b$ [m]	0,080	tloušťka betonové desky
$h_{b,s}$ [m]	0,017	srovnávací tloušťka žeber - vyrovnaná tloušťka betonu v žebrech na 1 m'
$h_p$ [m]	0,050	výška vlny trapézového plechu
$b_0$ [m]	0,085	střední šířka mezi dvěma vlnami trapézového plechu
$b_{vln}$ [m]	0,250	osová vzdálenost dvou vln trapézového plechu
$b_{dolní}$ [m]	0,054	šířka spodní vlny trapézového plechu

**Zatížení stropu***Obrázek 18 Schematický řez stropem v místě napojení stropnice na průvlak*

$q_{k,u}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,500	užitné zatížení stropu - administrativa
$q_{k,p}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,800	přemístitelné přičky s vlastní tíhou $\leq 2,0$ kN/m
$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	3,300	celkové užitné zatížení stropu ( $q_{k,u} + q_{k,p}$ )
$g_{k,podhled}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,190	zatížení vyvolané tíhou podhledu
$g_{k,VZT}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,250	rozvody zavěšené na trapézový plech

$g_{k,podlaha}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,100	zatížení vyvolané tíhou podlahy
$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,540	ostatní stálé zatížení ( $g_{k,podhled} + g_{k,VZT} + g_{k,podlaha}$ )
$g_{k,plech}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,101	zatížení vyvolané hmotností trapézového plechu TR 50/250 - tl. 1,0 mm
$g_{k,bet}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,620	stálé zatížení při betonáži ( $g_{k,plech} + (h_b + h_{b,s}) \cdot 26$ )
$q_{k,bet,3}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,500	proměnné při betonáži na délce 3,0 m
$q_{k,bet,jin}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,750	proměnné při betonáži jinde
$g_{d,bet}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	3,537	výpočtová hodnota stálého zatížení při betonáži ( $g_{k,plech} + (h_b + h_{b,s}) \cdot 26$ ) $\cdot 1,35$
$q_{d,bet,3}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,250	výpočtová hodnota proměnného zatížení při betonáži na délce 3,0 m
$q_{d,bet,jin}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,125	výpočtová hodnota proměnného zatížení při betonáži jinde

#### Návrh trapézového plechu - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$W_{y,eff}^+$ [mm <sup>3</sup> ]	12430	průřezový modul efektivního průřezu pro únosnost na 1 m délky
$W_{y,eff}^-$ [mm <sup>3</sup> ]	12830	průřezový modul efektivního průřezu pro únosnost na 1 m délky
$I_{y,eff}^+$ [mm <sup>4</sup> ]	311000	moment setrvačnosti efektivního průřezu pro použitelnost na 1 m délky
$I_{y,eff}^-$ [mm <sup>4</sup> ]	413000	moment setrvačnosti efektivního průřezu pro použitelnost na 1 m délky

#### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$M_{Ed}^-$ [kNm]	2,4	návrhová hodnota ohybového momentu nad podporou
$M_{Ed}^+$ [kNm]	1,74	návrhová hodnota ohybového momentu v poli
$M_{l,g,k,bet}$ [kNm]	1,05	moment nad podporou od $g_{k,bet}$

#### Mezní stav únosnosti - únosnost trapézového plechu

$$M_{pl,Rd}^- = \frac{W_{y,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,Rd}^+ = \frac{W_{y,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}^-$ [kNm]	4,555	plastická únosnost v ohybu nad podporou
$M_{pl,Rd}^+$ [kNm]	4,413	plastická únosnost v ohybu v poli
$M_{pl,Rd}^- \geq M_{Ed}^-$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed}^- / M_{pl,Rd}^-$	52,69%	využití průřezu
$M_{pl,Rd}^+ \geq M_{Ed}^+$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed}^+ / M_{pl,Rd}^+$	39,43%	využití průřezu

### Mezní stav použitelnosti trapézového plechu

$$\delta_{max} = \frac{1}{E \cdot I_{y,eff}^+} \cdot \frac{5}{384} \cdot g_{k,bet} \cdot L_m^4 - \frac{1}{E \cdot I_{y,eff}^-} \cdot \frac{1}{16} \cdot M_{1,g,k,bet} \cdot L_m^2$$

$\delta_{max}$ [mm]	5,331	maximální průhyb při betonáži
$\delta_{lim,rybnik}$ [mm]	8	limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt 1/10* $h_b$ dle ČSN EN 1994-1-1 čl. 9.3.2
$\delta_{lim}$ [mm]	11,111	limit průhybu trapézového plechu $L_m/180$ dle ČSN EN 1994-1-1 národní příloha NA
$\delta_{lim,rybnik} > \delta_{max}$	<b>VYHOVUJE</b>	
$\delta_{lim} > \delta_{max}$	<b>VYHOVUJE</b>	

## 16.1. Betonová žebrová deska

Betonová deska není s trapézovým plechem nijak spřažena. Ke spřažení by bylo třeba použít speciální profily jako trapézové plechy s výstupky nebo samosvorné plechy. Tyto profily jsou však svou cenou a dostupností nevhodné, zejména také vzhledem k omezenému množství kusů, které by bylo třeba pro výstavbu předmětné haly. Z těchto důvodů bude dále pro případ betonové desky uvažován zvolený trapézový plech jako ztracené bednění. V dalším postupu je možné zvolit ze dvou statických variant řešení. První variantou je spojitý nosník o třech polích, který však vyvolá větší pracnost při vyztužování z důvodu návrhu výztuže nad podporami k přenesení záporných momentů. Vzhledem k osově vzdálenosti stropnic bylo proto zvoleno druhé řešení, a to prostý nosník o jednom poli se vzdáleností podpor rovnající se osově vzdálenosti stropnic. S ohledem na rozměry vln trapézového plechu bude v každé vlně umístěn jeden profil nosné výztuže. Třmínky budou zajišťovat polohu hlavní nosné výztuže, aby bylo zajištěno navržené krytí, a budou svázány s kari sítí položenou na horní

straně trapézového plechu. Třmínky tedy plní funkci rozdělovací výztuže. Materiál výztuže byl navržen B 420B.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$V_{Ed}$ [kN]	12,737	návrhová hodnota posouvající síly
$M_{Ed}$ [kNm]	6,368	návrhová hodnota ohybového momentu

$f_{y,s}$ [MPa]	400	napětí na mezi kluzu
$\gamma_s$ [-]	1,15	dílčí součinitel spolehlivosti výztuže pro prostou únosnost
$f_{ck}$ [MPa]	25	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech
$f_{ctm}$ [MPa]	2,6	charakteristická hodnota pevnosti betonu v tahu
$\gamma_c$ [-]	1,5	dílčí součinitel pro beton

Posouzení betonové žebrové desky bylo provedeno podle níže uvedených vztahů vyplývajících z ČSN EN 1992-1-1 článku 9.2 a národní přílohy NA 2.89.

$$s_{max} = \min(2 \cdot h_s; 300)$$

$$A_{s,min,1} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot 1,0 \cdot d}{f_{y,s}}$$

$$A_{s,min,2} = 0,0013 \cdot 1,0 \cdot d$$

$$A_{s,min} = \max(A_{s,min,1}; A_{s,min,2})$$

$$d = h_s - c_{nom} - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2}$$

$$x = \frac{A_s \cdot \frac{f_{y,s}}{\gamma_s}}{0,8 \cdot 1,0 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot \frac{f_{y,s}}{\gamma_s} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$h_s$ [m]	0,13	celková výška betonové desky
$\phi$ [mm]	8	navržený profil nosné výztuže
	4	počet prutů nosné výztuže na 1 m' betonové desky
[m]	0,25	osová vzdálenost prutů hlavní nosné výztuže

$s_{max}$  [m] 0,26 maximální osová vzdálenost jednotlivých prutů hlavní nosné výztuže dle ČSN EN 1992-1-1 národní příloha NA.2.89

**VYHOVUJE** podmínka maximální vzdálenosti jednotlivých prutů hlavní nosné výztuže

$A_s$  [m<sup>2</sup>] 0,000201 plocha nosné výztuže na 1 m' betonové desky

$A_{s,min,1}$  [m<sup>2</sup>] 0,000164 minimální plocha 1 hlavní nosné výztuže

$A_{s,min,2}$  [m<sup>2</sup>] 0,000126 minimální plocha 2 hlavní nosné výztuže

$A_{s,min}$  [m<sup>2</sup>] 0,000164 minimální plocha hlavní nosné výztuže

**VYHOVUJE** podmínka minimální plochy hlavní nosné výztuže

$\phi_{tr}$  [mm] 4 navržený profil třmínku

[m] 0,2 osová vzdálenost třmínků

$s_{max,tr}$  [m] 0,39 maximální osová vzdálenost jednotlivých prutů rozdělovací výztuže dle ČSN EN 1992-1-1 národní příloha NA.2.89

**VYHOVUJE** podmínka maximální vzdálenosti jednotlivých prutů rozdělovací výztuže

$A_{s,tr}$  [m<sup>2</sup>] 6,283E-05 plocha třmínků na 1 m' desky

$A_{s,min,tr}$  [m<sup>2</sup>] 4,021E-05 minimální plocha rozdělovací výztuže dle ČSN EN 1992-1-1 čl. 9.3.1.1

**VYHOVUJE** podmínka minimální plochy rozdělovací výztuže

$c_{nom}$  [m] 0,025 minimální krytí s ohledem na prostředí, ve kterém se betonová deska nachází dle ČSN EN 1992-1-1

$d$  [m] 0,097 vzdálenost od osy výztuže po horní okraj betonové desky

$x$  [m] 0,005 výška tlačené části betonové desky a poloha neutrální osy od horního okraje betonové desky

$M_{Rd}$  [kNm] 6,641 únosnost v ohybu betonové desky

$M_{Rd} \geq M_{Ed}$  **VYHOVUJE** posouzení - podmínka pro únosnost v ohybu

$M_{Ed} / M_{Rd}$  95,90% využití průřezu

### Únosnost ve smyku

S ohledem na malou posouvající sílu působící na betonovou desku není navržena smyková výztuž, ale je v první řadě posouzena únosnost ve smyku bez smykové výztuže. Při stanovení smykové únosnosti desky je zanedbán příspěvek káři sítě i trapézového plechu, které mají

bezsporu pozitivní vliv na smykovou únosnost. Únosnost byla stanovena na základě níže uvedených vztahů vyplývajících z ČSN EN 1992-1-1 článku 6.2.2.

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \text{ kde } d \text{ je v mm}$$

$$b_w = \frac{1}{b_{vln}} \cdot b_{dolní}$$

$$\rho_I = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

$$V_{Rd,c,1} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_I \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c,min} = (0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = \max(V_{Rd,c,1}; V_{Rd,c,min})$$

$C_{Rd,c}$ [-]	0,12	součinitel
$k$ [-]	2	součinitel
$b_w$ [m]	0,216	nejmenší šířka průřezu v tažené oblasti (celková šířka spodních vln trapézového plechu na 1 m' délky)
$\rho_I$ [-]	0,010	stupeň vyztužení podélnou výztuží
$V_{Rd,c,1}$ [kN]	14,503	výpočtová smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$V_{Rd,c,min}$ [kN]	10,371	minimální smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$V_{Rd,c}$ [kN]	14,503	výsledná smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b> posouzení - podmínka pro únosnost ve smyku	
$V_{Ed} / V_{Rd,c}$	87,82%	využití průřezu

## 16.2. Stropnice

Profil stropnice IPE220

### Zatížení při betonáži

$g_{k,IPE}$  [kN/m] 0,262 vlastní tíha stropnice



$g_{k,bet}$ [kN/m]	5,240	stálé zatížení při betonáži $(g_{k,plech}+(h_b+h_{b,s})*26)*L_m$
$g_{k,celk}$ [kN/m]	5,502	celkové stálé zatížení při betonáži a šířce $L_m$
$q_{k,bet,3}$ [kN/m]	3,000	proměnné při betonáži na délce 3,0 m a šířce $L_m$
$q_{k,bet,jin}$ [kN/m]	1,500	proměnné při betonáži jinde a šířce $L_m$
$g_{d,celk}$ [kN/m]	7,428	výpočtová hodnota stálého zatížení při betonáži $0,35*g_{k,IPE} + (g_{k,plech}+(h_b+h_{b,s})*26)*1,35*L_m$
$q_{d,bet,3}$ [kN/m]	4,500	výpočtová hodnota proměnného zatížení při betonáži na délce 3,0 m a šířce $L_m$
$q_{d,bet,jin}$ [kN/m]	2,250	výpočtová hodnota proměnného zatížení při betonáži jinde a šířce $L_m$

### Návrh stropnice - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	3337	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	1588	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	27720000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	2049000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	252000	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	285400	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	37250	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	58110	plastický modul průřezu k ose z
$i_y$ [mm]	91,142	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	24,780	poloměr setrvačnosti k ose z
$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	2,267E+10	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	90700	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	220	výška nosníku
$b$ [mm]	110	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	5,9	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	9,2	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	12	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou

$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
	1	třída průřezu stojiny pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu přechýlující části pásnice pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>1</b>	<b>výsledná třída průřezu pro ohyb</b>
$f_{ck}$ [MPa]	25	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech
$\gamma_c$ [-]	1,5	dílčí součinitel pro beton
$E_{cm}$ [MPa]	31000	sečnový modul pružnosti betonu

### Mezní stav použitelnosti stropnice - při betonáži

$$\delta_{max} = \frac{1}{E \cdot I_y} \cdot \frac{5}{384} \cdot g_{k,celk} \cdot L_s^4$$

$\delta_{max}$ [mm]	38,941	maximální průhyb při betonáži
$\delta_{lim,rybnik}$ [mm]	30	limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt ( $L_s/250$ )
$\delta_{lim,rybnik2}$ [mm]	20	limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt (20 mm)
$\delta_{lim,rybnik} > \delta_{max}$	<b>NEVYHOVUJE</b>	
$\delta_{lim,rybnik2} > \delta_{max}$	<b>NEVYHOVUJE</b>	
$g_{k,rybnik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,709	přídavné zatížení vyvolané rybníkovým efektem ( $\delta_{max} * 0,7 * 26$ )

### Mezní stav únosnosti stropnice - při betonáži

#### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$V_{Ed}$ [kN]	44,983	návrhová hodnota posouvající síly
$M_{Ed}$ [kNm]	88,140	návrhová hodnota ohybového momentu

#### Únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ [kN]	325,475	plastická únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} \quad 13,82\% \text{ využití průřezu}$$

BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU

### Únosnost v ohybu bez ztráty stability

Trapézový plech spřáhnutý spřahovacími trny brání klopení tlačené části nosníku.

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,Rd} \text{ [kNm]} \quad 101,317 \text{ plastická únosnost v ohybu}$$

$$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed} \quad \textbf{VYHOVUJE} \text{ posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu}$$

$$M_{Ed} / M_{pl,Rd} \quad 86,99\% \text{ využití průřezu}$$

### Mezní stav únosnosti stropnice - provozní stav

#### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$$V_{Ed} \text{ [kN]} \quad 97,873 \text{ návrhová hodnota posouvající síly}$$

$$M_{Ed} \text{ [kNm]} \quad 183,512 \text{ návrhová hodnota ohybového momentu}$$

### Únosnost ve smyku

Vliv betonové desky na únosnost ve smyku zanedbáváme - strana bezpečnosti, protože beton má, byť minimální, únosnost ve smyku, a beton tedy ve skutečnosti zvyšuje námi stanovenou únosnost ve smyku.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} \text{ [kN]} \quad 325,475 \text{ plastická únosnost ve smyku}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed} \quad \textbf{VYHOVUJE} \text{ posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} \quad 30,07\% \text{ využití průřezu}$$

BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU

### Únosnost v ohybu

Prvním předpokladem, který se při výpočtu potvrdil, byla poloha neutrální osy v betonové desce a s ohledem na tuto skutečnost byly sestaveny níže uvedené vztahy.

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{ei} = 2 \cdot \frac{L_s}{8} < 2 \cdot \frac{L_m}{2}$$

$$x = \frac{\frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}}}{\frac{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \left( h_a - \frac{x}{2} \right)$$

$b_{eff}$ [m]	1,875	celková účinná šířka
$h_a$ [m]	0,240	vzdálenost mezi těžištěm ocelového nosníku a vnějším krajem betonové desky
$x$ [m]	0,045	výška tlačené části betonové desky a poloha neutrální osy od vnějšího kraje betonové desky
$x \leq h_b$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínky polohy neutrální osy, zda je v betonové desce
$M_{pl,Rd}$ [kNm]	257,896	plastická únosnost v ohybu při plném spřažení
$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$	71,16%	využití průřezu

### Spřažení - spřahovací trn typu SD

$$\min \begin{cases} P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\gamma_v} \\ P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} \end{cases}$$

$$P_{Rd,r} = P_{Rd} \cdot k_t$$

$$\min \begin{cases} N_{cf} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{cf} = \frac{A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \end{cases}$$

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P_{Rd,r}}$$

$$N_c = n_{sk} \cdot P_{Rd,r}$$

$$\eta = \frac{N_c}{N_{cf}} = \frac{n_{sk}}{n_f}$$

$d$ [mm]	19	průměr spřahovacího trnu
$h_{sc}$ [mm]	100	výška trnu snižená o 5 mm

$f_u$ [MPa]	450	mez pevnosti spřahovacího trnu
$\gamma_v$ [-]	1,25	dílčí součinitel
$\alpha$ [-]	1	součinitel
$P_{Rd}$ [kN]	73,730	návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku dle ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.6.3.1
$n_r$ [-]	1	počet trnů v jednom žeburu v příčném řezu (dle podmínek ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.6.5.7)
$k_t$ [-]	0,850	redukční součinitel
$P_{Rd,r}$ [kN]	62,671	návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku redukovaná redukčním součinitelem
$N_{cf}$ [kN]	1184,635	návrhová velikost podélné smykové síly
$n_f$ [ks]	19	minimální počet trnů na jednu polovinu nosníku pro zajištění plného spřežení
$n_{sk}$ [ks]	15	skutečný počet trnů na polovinu nosníku (mezi kritickými průřezy $V_{max}$ a $M_{max}$ )
$n_f \leq n_{sk}$	<b>ČÁSTEČNĚ</b>	podmínka plného spřežení
$N_c$ [kN]	940,061	redukovaná tlaková síla v betonové desce (ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.2.1.3)
$\eta$ [-]	0,794	stupeň smykového spojení
	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka duktility (houževnatosti)
$M_{pl,a,Rd}$ [kNm]	101,317	plastická únosnost ocelového nosníku v ohybu
$M_{Rd}$ [kNm]	225,570	plastická únosnost v ohybu při částečném spřežení
$M_{Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{Rd}$	81,36%	využití průřezu

### Mezní stav použitelnosti stropnice - provozní stav

Pro následující výpočet byl vypočten účinný modul pružnosti při uvažování vlivu dotvarování, stejně jako pracovní součinitel poměrem modulu pružnosti oceli a účinného modulu pružnosti betonu. Poloha neutrální osy byla vypočtena jako vzdálenost od horních vláken betonové desky. Pro výpočet napětí ke krajním vláknům ocelového nosníku a napětí ke krajním vláknům betonové desky byl vypočten moment setrvačnosti spřaženého průřezu.

Průhyb byl pak vypočten jako průhyb stropnice od stálých zatížení při betonáži a následně jako průhyb od ostatních stálých zatížení a nahodilých zatížení působících na ocelobetonový strop. Při výpočtu průhybu od stálých zatížení při betonáži byl počítán průhyb ocelového

nosníku a při výpočtu byl použit moment setrvačnosti ocelového nosníku. Při výpočtu průhybu od ostatních stálých zatížení a nahodilých zatížení byl počítán průhyb ocelobetonového stropu s využitím momentu setrvačnosti spřaženého průřezu.

$$E'_c = \frac{E_{cm}}{2}$$

$$n = \frac{E_a}{E'_c}$$

$$x = \frac{A_a \cdot h_a + \frac{1}{n} \cdot h_b \cdot b_{eff} \cdot \frac{h_b}{2}}{A_a + \frac{1}{n} \cdot h_b \cdot b_{eff}}$$

$$I_I = I_a + A_a \cdot z_a^2 + \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot h_b^3 + h_b \cdot b_{eff} \cdot z_c^2 \right)$$

$$\sigma_a = \frac{M_{Ek, mont}}{W_{a, el, y}} + \frac{M_{Ek, prov}}{I_I} \cdot z_d$$

$$\sigma_c = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{Ek, prov}}{I_I} \cdot z_h$$

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k, mont} \cdot L_s^4}{E_a \cdot I_a}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k, prov} \cdot L_s^4}{E_a \cdot I_I}$$

$E'_c$ [MPa]	15500	účinný modul pružnosti betonu při uvažování vlivu dotvarování betonu
$n$ [-]	13,548	pracovní součinitel
$x$ [m]	0,086	poloha neutrální osy od horních vláken betonové desky
$z_a$ [m]	0,154	vzdálenost těžiště ocelového nosníku od neutrální osy
$z_c$ [m]	0,046	vzdálenost těžiště betonové desky od neutrální osy
$I_I$ [m <sup>4</sup> ]	0,000136	moment setrvačnosti spřaženého průřezu
$M_{Ek, mont}$ [kNm]	38,687	ohybový moment od zatížení při montáži
$M_{Ek, prov}$ [kNm]	82,125	ohybový moment od užitého zatížení a od ostatních stálých zatížení
$\sigma_a$ [MPa]	312,524	napětí v krajních vláknech ocelového nosníku

$\sigma_a < f_y$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka pružného působení ocelového nosníku v mezním stavu použitelnosti
$\sigma_c$ [MPa]	3,842	napětí v krajních vláknech betonové desky
$\sigma_c < 0,85 \cdot f_{ck}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka pružného působení betonové desky v mezním stavu použitelnosti
$\eta > 0,5$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka neprojevení částečného smykového spojení na průhybu
$\delta_1$ [mm]	38,941	průhyb od stálých zatížení při montáži
$\delta_2$ [mm]	16,825	průhyb od nahodilých zatížení a ostatních stálých zatížení
$\delta_{celk}$ [mm]	55,766	celkový průhyb
$\delta_{lim}$ [mm]	30	limitní hodnota průhybu ( $L_s/250$ ) dle ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA
$\delta_{lim} > \delta_{celk}$	<b>NEVYHOVUJE</b>	
$\delta_{lim} > \delta_2$	<b>VYHOVUJE</b>	

Průhyb od užitného a ostatního stálého zatížení vyhovuje. Celkový průhyb nevyhovuje, ale průhyb od stálých zatížení bude vyrovnán podhledem.

Výstuž v minimálním množství 0,2 % plochy betonové desky nad žebry, tedy 0,2 % z plochy 0,08 m<sup>2</sup> na 1 m délky, tedy 0,00016 m<sup>2</sup>, bude zajištěna kari sítí s oky 150/150 mm a profilu 6 mm položenou na trapézový plech.

## 17. Ocelobetonový strop - průvlak

Profil průvlaku IPE330

Konstrukční ocel S355J0

### Návrh průvlaku - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	6261	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	3081	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	117700000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	7881000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	713100	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	804300	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	98520	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	153700	plastický modul průřezu k ose z
$i_y$ [mm]	137,109	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	35,479	poloměr setrvačnosti k ose z
$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	1,991E+11	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	281500	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	330	výška nosníku
$b$ [mm]	160	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	7,5	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	11,5	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	18	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
	1	třída průřezu stojiny pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu přečnívající části pásnice pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>1</b>	<b>výsledná třída průřezu pro ohyb</b>



$f_{ck}$ [MPa]	25	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech
$\gamma_c$ [-]	1,5	dílčí součinitel pro beton
$E_{cm}$ [MPa]	31000	sečnový modul pružnosti betonu

**Zatížení stropu**

$F_{q,k}$ [kN]	49,500	celkové užité zatížení přenesené stropnicemi $(q_{k,u} + q_{k,p}) \cdot L_m \cdot L_s$
$F_{g,k,ost}$ [kN]	38,100	celkové ostatní stálé zatížení přenesené stropnicemi $(g_{k,podhled} + g_{k,VZT} + g_{k,podlaha}) \cdot L_m \cdot L_s$
$F_{q,d}$ [kN]	74,250	celkové užité zatížení přenesené stropnicemi
$F_{g,d,ost}$ [kN]	51,435	celkové ostatní stálé zatížení přenesené stropnicemi

**Zatížení při betonáži**

$g_{k,IPE}$ [kN/m]	0,491	charakteristická hodnota vlastní tíhy průvlaku
$F_{k,celk}$ [kN]	51,897	celkové charakteristické zatížení vyvozené stropnicí při betonáži a zatěžovací šířce $L_s$
$F_{1,k,bet}$ [kN]	15,300	proměnná hodnota zatížení při betonáži, vyvozené více zatíženou stropnicí
$F_{2,k,bet}$ [kN]	9,675	proměnná hodnota zatížení při betonáži, vyvozené méně zatíženou stropnicí
$g_{d,IPE}$ [kN/m]	0,663	návrhová hodnota vlastní tíhy průvlaku
$F_{d,celk}$ [kN]	70,061	celkové návrhové zatížení vyvozené stropnicí při betonáži a zatěžovací šířce $L_s$
$F_{1,d,bet}$ [kN]	22,950	návrhová hodnota zatížení při betonáži, vyvozené více zatíženou stropnicí
$F_{2,d,bet}$ [kN]	14,513	návrhová hodnota zatížení při betonáži, vyvozené méně zatíženou stropnicí

**Mezní stav použitelnosti průvlaku - při betonáži**

$$\delta_{max} = \frac{1}{E_a \cdot I_y} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot g_{k,IPE} \cdot L_p^4 + 0,0355 \cdot F_{k,celk} \cdot L_p^3 \right)$$

$\delta_{max}$ [mm]	16,435	maximální průhyb při betonáži
$\delta_{lim,rybnik}$ [mm]	24	limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt

$$(L_p/250)$$

$\delta_{\text{lim,rybnik2}}$  [mm] 20 limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt (20 mm)

$\delta_{\text{lim,rybnik}} > \delta_{\text{max}}$  **VYHOVUJE**

$\delta_{\text{lim,rybnik2}} > \delta_{\text{max}}$  **VYHOVUJE**

### Mezní stav únosnosti průvlaku - při betonáži

#### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$V_{\text{Ed}}$  [kN] 92,188 návrhová hodnota posouvající síly

$M_{\text{Ed}}$  [kNm] 183,049 návrhová hodnota ohybového momentu

#### Únosnost ve smyku

$$V_{\text{pl,Rd}} = \frac{A_{\text{vz}} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{\text{pl,Rd}}$  [kN] 631,480 plastická únosnost ve smyku

$V_{\text{pl,Rd}} \geq V_{\text{Ed}}$  **VYHOVUJE** posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku

$V_{\text{Ed}} / V_{\text{pl,Rd}}$  14,60% využití průřezu

BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU

#### Únosnost v ohybu bez ztráty stability

$$M_{\text{pl,Rd}} = \frac{W_{\text{pl,y}} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{\text{pl,Rd}}$  [kNm] 285,527 plastická únosnost v ohybu

$M_{\text{pl,Rd}} \geq M_{\text{Ed}}$  **VYHOVUJE** posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu

$M_{\text{Ed}} / M_{\text{pl,Rd}}$  64,11% využití průřezu

#### Únosnost v ohybu se ztrátou stability - klopení

Z důvodu malé tuhosti podélných žeber trapézového plechu při betonáži nelze zanedbat vliv klopení. Součinitel  $k_y$  se vztahuje ke koncovému pootočení v rovině kolmé k ose y-y, součinitel  $k_z$  se vztahuje ke koncovému pootočení v rovině kolmé k ose z-z. Tyto součinitele jsou analogické k poměru  $L_{\text{cr}}/L$  u tlačných prutů. S přihlédnutím k bezpečnosti, protože nebylo koncové pootočení podrobena analýze, uvažujeme oba součinitele = 1. Součinitel  $k_w$  se vztahuje ke koncové deplanaci. Protože není provedeno speciální opatření k zamezení deplanace, bereme součinitel = 1.

$$K_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{L \cdot k_z} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + K_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right]$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0$$

$$M_{pl,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

L [m]	2	délka nosníku mezi body zajištěnými proti posunu kolmo z roviny
k <sub>y</sub> [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
k <sub>z</sub> [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v ohybu
k <sub>w</sub> [-]	1	součinitel vzpěrné délky uložení v kroucení
K <sub>wt</sub> [-]	2,127	bezrozměrný parametr kroucení
z <sub>g</sub> [mm]	55	vzdálenost působíště zatížení od středu smyku
ζ <sub>g</sub> [-]	0,736	bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku
C <sub>1</sub> [-]	1	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců (posouzeno podle poměru koncových momentů)
C <sub>2</sub> [-]	0	součinitel závislý na zatížení a podmínkách uložení konců
μ <sub>cr</sub> [-]	2,350	bezrozměrný kritický moment
M <sub>cr</sub> [Nmm]	717210881,9	pružný kritický moment při ztrátě příčné a torzní stability
λ <sub>LT</sub> [-]	0,631	poměrná štíhlost při klopení

b křivka klopení (tabulka 6.4 ČSN EN 1993-1-1)

$\alpha_{LT}$ [-]	0,34	součinitel imperfekce při klopení (tabulka 6.3 ČSN EN 1993-1-1)
$\phi_{LT}$ [-]	0,772	hodnota pro výpočet součinitele klopení $\chi_{LT}$
$\chi_{LT}$ [-]	0,821	součinitel klopení
$M_{pl,Rd}$ [kNm]	234,480	plastická únosnost v ohybu se ztrátou stability
$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$	78,07%	využití průřezu

**Mezní stav únosnosti průvlaku - provozní stav****Návrhové hodnoty vnitřních sil**

$V_{Ed}$ [kN]	197,735	návrhová hodnota posouvající síly
$M_{Ed}$ [kNm]	394,144	návrhová hodnota ohybového momentu

**Únosnost ve smyku**

Vliv betonové desky na únosnost ve smyku zanedbáváme - strana bezpečnosti, protože beton má, byť minimální, únosnost ve smyku, a beton tedy ve skutečnosti zvyšuje námi stanovenou únosnost ve smyku.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$ [kN]	631,480	plastická únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku
$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$	31,31%	využití průřezu

**BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU****Únosnost v ohybu**

Pro výpočet únosnosti v ohybu bylo třeba stanovit polohu neutrální osy ocelobetonového průřezu. Předpoklad polohy neutrální osy v betonové desce (jak je uveden níže) se nepotvrdil, a proto byl zvolen nový předpoklad a to poloha neutrální osy v horní pásnici ocelového nosníku. Tento předpoklad se potvrdil a ohybová únosnost byla stanovena k neutrální ose procházející horní pásnicí ocelového profilu.

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{ei} = 2 \cdot \frac{L_s}{8} < 2 \cdot \frac{L_m}{2}$$

Předpoklad polohy neutrální osy v betonové desce

$$x = \frac{\frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}}}{\frac{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}}$$

Předpoklad polohy neutrální osy v horní pásnici ocelového nosníku

$$x = \frac{0,85 \cdot A_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + 2 \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} - \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}}}{2 \cdot b \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \left( h_a - \frac{h_b}{2} \right) - 2 \cdot b \cdot (h - x) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \left( h_p + h_b + \frac{h - x}{2} - \frac{h_b}{2} \right)$$

$b_{eff}$ [m]	1,5	celková účinná šířka
$h_a$ [m]	0,295	vzdálenost mezi těžištěm ocelového nosníku a vnějším krajem betonové desky
$x$ [m]	0,105	výška tlačené části betonové desky a poloha neutrální osy od vnějšího kraje betonové desky
$x \leq h_b$	<b>NEVYHOVUJE</b>	podmínky polohy neutrální osy, zda je v betonové desce
$x$ [m]	0,325	poloha neutrální osy od spodního líce ocelového nosníku
	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka polohy neutrální osy, zda se nachází v horní pásnici
$M_{pl,Rd}$ [kNm]	518,536	plastická únosnost v ohybu při plném spřažení
$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$	76,01%	využití průřezu

**Spřažení - spřahovací trn typu SD**

$$\min \begin{cases} P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\gamma_v} \\ P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} \end{cases}$$

$$P_{Rd,r} = P_{Rd} \cdot k_l$$

$$\min \begin{cases} N_{cf} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{cf} = \frac{A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \end{cases}$$

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P_{Rd,r}}$$

$$N_c = n_{sk} \cdot P_{Rd,r}$$

$$\eta = \frac{N_c}{N_{cf}} = \frac{n_{sk}}{n_f}$$

d [mm]	19	průměr spřahovacího trnu
h <sub>sc</sub> [mm]	100	výška trnu snížená o 5 mm
f <sub>u</sub> [MPa]	450	mez pevnosti spřahovacího trnu
	54	šířka vlny trapézového plechu pro umístění spřahovacích trnů
γ <sub>v</sub> [-]	1,25	dílčí součinitel
α [-]	1	součinitel
P <sub>Rd</sub> [kN]	73,730	návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku dle ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.6.3.1
n <sub>r</sub> [-]	1	počet trnů v jednom žeburu v příčném řezu (dle podmínek ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.6.5.7)
k <sub>l</sub> [-]	1	redukční součinitel
P <sub>Rd,r</sub> [kN]	73,730	návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku redukovaná redukčním součinitelem
N <sub>cf</sub> [kN]	1700	návrhová velikost podélné smykové síly
n <sub>f</sub> [ks]	23	minimální počet trnů na jednu polovinu nosníku pro zajištění plného spřežení
n <sub>sk</sub> [ks]	21	skutečný počet trnů mezi kritickými průřezy V <sub>max</sub> a M <sub>max</sub>
n <sub>f</sub> ≤ n <sub>sk</sub>	<b>ČÁSTEČNÉ</b>	podmínka plného spřežení
N <sub>c</sub> [kN]	1548,336	redukovaná tlaková síla v betonové desce (ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.2.1.3)
η [-]	0,911	stupeň smykového spojení
	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka duktility (houževnatosti)
M <sub>pl,a,Rd</sub> [kNm]	285,527	plastická únosnost ocelového nosníku v ohybu
M <sub>Rd</sub> [kNm]	497,748	plastická únosnost v ohybu při částečném spřežení
M <sub>Rd</sub> ≥ M <sub>Ed</sub>	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
M <sub>Ed</sub> / M <sub>Rd</sub>	79,19%	využití průřezu

**Mezní stav použitelnosti průvlaku - provozní stav**

Pro následující výpočet byl vypočten účinný modul pružnosti při uvažování vlivu dotvarování, stejně jako pracovní součinitel poměrem modulu pružnosti oceli a účinného modulu pružnosti betonu. Poloha neutrální osy byla vypočtena jako vzdálenost od horních vláken betonové desky. Pro výpočet napětí ke krajním vláknům ocelového nosníku a napětí ke krajním vláknům betonové desky byl vypočten moment setrvačnosti spřaženého průřezu.

Průhyb byl pak vypočten jako průhyb od stálých zatížení při betonáži a následně jako průhyb od ostatních stálých zatížení a nahodilých zatížení působících na ocelobetonový strop. Při výpočtu průhybu od stálých zatížení při betonáži byl počítán průhyb ocelového nosníku a při výpočtu byl použit moment setrvačnosti ocelového nosníku. Při výpočtu průhybu od ostatních stálých zatížení a nahodilých zatížení byl počítán průhyb ocelobetonového stropu s využitím momentu setrvačnosti spřaženého průřezu.

$$E'_c = \frac{E_{cm}}{2}$$

$$n = \frac{E_a}{E'_c}$$

$$x = \frac{A_a \cdot h_a + \frac{1}{n} \cdot h_b \cdot b_{eff} \cdot \frac{h_b}{2}}{A_a + \frac{1}{n} \cdot h_b \cdot b_{eff}}$$

$$I_I = I_a + A_a \cdot z_a^2 + \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot h_b^3 + h_b \cdot b_{eff} \cdot z_c^2 \right)$$

$$\sigma_a = \frac{M_{Ek,mont}}{W_{a,el,y}} + \frac{M_{Ek,prov}}{I_I} \cdot z_d$$

$$\sigma_c = \frac{1}{n} \cdot \frac{M_{Ek,prov}}{I_I} \cdot z_h$$

$$\delta_1 = \frac{1}{E_a \cdot I_y} \cdot \left( \frac{5}{384} \cdot g_{k,IPE} \cdot L_p^4 + 0,0355 \cdot F_{k,celk} \cdot L_p^3 \right)$$

$$\delta_2 = \frac{23}{648} \cdot \frac{F_{q,k+g,k,ost} \cdot L_p^4}{E_a \cdot I_I}$$

$E'_c$  [MPa]                      15500 účinný modul pružnosti betonu při uvažování vlivu dotvarování betonu

$n$  [-]                              13,548 pracovní součinitel

$x$ [m]	0,146	poloha neutrální osy od horních vláken betonové desky
$z_a$ [m]	0,149	vzdálenost těžiště ocelového nosníku od neutrální osy
$z_c$ [m]	0,106	vzdálenost těžiště betonové desky od neutrální osy
$I_I$ [m <sup>4</sup> ]	0,000361	moment setrvačnosti spřaženého průřezu
$M_{Ek, mont}$ [kNm]	106,004	ohybový moment od zatížení při montáži
$M_{Ek, prov}$ [kNm]	175,200	ohybový moment od užitého zatížení a od ostatních stálých zatížení
$\sigma_a$ [MPa]	284,404	napětí v krajních vláknech ocelového nosníku
$\sigma_a < f_y$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka pružného působení ocelového nosníku v mezním stavu použitelnosti
$\sigma_c$ [MPa]	5,217	napětí v krajních vláknech betonové desky
$\sigma_c < 0,85 \cdot f_{ck}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka pružného působení betonové desky v mezním stavu použitelnosti
$\eta > 0,5$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka neprojevení částečného smykového spojení na průhybu
$\delta_1$ [mm]	16,435	průhyb od stálých zatížení při montáži
$\delta_2$ [mm]	8,860	průhyb od nahodilých zatížení a ostatních stálých zatížení
$\delta_{celk}$ [mm]	25,296	celkový průhyb
$\delta_{lim}$ [mm]	15	limitní hodnota průhybu ( $L_p/400$ ) dle ČSN EN 1993-1-1 národní příloha NA
$\delta_{lim} > \delta_{celk}$	<b>NEVYHOVUJE</b>	
$\delta_{lim} > \delta_2$	<b>VYHOVUJE</b>	

Průhyb od užitého a ostatního stálého zatížení vyhovuje. Celkový průhyb nevyhovuje, ale průhyb od stálých zatížení bude vyrovnán podhledem.

Výstuž v minimálním množství 0,2 % plochy betonové desky nad žebry, tedy 0,2 % z plochy 0,08 m<sup>2</sup> na 1 m délky, tedy 0,00016 m<sup>2</sup>, bude zajištěna kari sítí s oky 150/150 mm a profilu 6 mm položenou na trapézový plech.



## 18. Ocelobetonový strop - sloup

Ocelobetonový strop je nesen ocelovými sloupy profilu HEA. V místě hlavy sloupu je styk dvou průvlaků a dvou stropnic, které jsou ke sloupu připojeny kloubově. Sloupy jsou podepřeny patkami, se kterými jsou spojeny kloubově (tuhost spoje zajišťuje společně s podélným a příčným ztužidlem vestavěného patra stabilitu při montáži - připevnění průvlaků a stropnic - a tím je zajištěna následná stabilita sloupu).

Profil sloupu HEA200

Konstrukční ocel S355J0

### Zatížení sloupu

$L$ [m]	4,2	výška sloupu
$g_{k,HEA}$ [kN/m]	0,423	charakteristická hodnota vlastní tíhy sloupu
$F_{k,průvlak}$ [kN]	281,941	charakteristická hodnota zatížení průvlaky
$F_{k,stropnice}$ [kN]	278,995	charakteristická hodnota zatížení stropnicemi
$g_{d,HEA}$ [kN/m]	0,571	návrhová hodnota vlastní tíhy sloupu
$F_{d,průvlak}$ [kN]	395,470	návrhová hodnota zatížení průvlaky
$F_{d,stropnice}$ [kN]	391,493	návrhová hodnota zatížení stropnicemi

### Návrhová hodnota vnitřních sil

$N_{Ed}$ [kN]	789,362	návrhová hodnota normálové síly
---------------	---------	---------------------------------

### Návrh sloupu - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	5380	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	1810	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	36900000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	13360000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	389000	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	429500	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	133600	pružný modul průřezu k ose z

$W_{pl,z} [mm^3]$	203800	plastický modul průřezu k ose z
$i_y [mm]$	82,817	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z [mm]$	49,832	poloměr setrvačnosti k ose z
$I_w [mm^6]$	1,08E+11	výsečový moment setrvačnosti
$I_t [mm^4]$	209800	moment tuhosti v prostém kroucení
$h [mm]$	190	výška nosníku
$b [mm]$	200	šířka pásnice
$t_w [mm]$	6,5	tloušťka stojiny
$t_f [mm]$	10	tloušťka pásnice
$r [mm]$	18	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon [-]$	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
	2	třída průřezu přečnávající části pásnice pro tlak dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu stojiny pro tlak dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>2</b>	<b>výsledná třída průřezu pro tlak</b>

### Mezní stav únosnosti

#### Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$L_{cr,y} [m]$	4,2	vzpěrná délka pro vybočení v rovině příčné vazby
$\lambda_y [-]$	50,714	štíhlost k ose y
$\lambda_1 [-]$	76,155	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet

		poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}_y$ [-]	0,666	poměrná štíhlost k ose y
	b	křivka vzpěrné pevnosti y-y
$\alpha_y$ [-]	0,34	součinitel imperfekce k ose y
$\varphi_y$ [-]	0,801	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y
$\chi_y$ [-]	0,803	součinitel vzpěrnosti k ose y
$L_{cr,z}$ [m]	4,2	vzpěrná délka pro vybočení z roviny příčné vazby
$\lambda_z$ [-]	84,282	štíhlost k ose z
$\lambda_1$ [-]	76,399	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}_z$ [-]	1,103	poměrná štíhlost k ose z
	c	křivka vzpěrné pevnosti z-z
$\alpha_z$ [-]	0,49	součinitel imperfekce k ose z
$\varphi_z$ [-]	1,330	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z
$\chi_z$ [-]	0,483	součinitel vzpěrnosti k ose z
$\chi_{min}$ [-]	0,483	minimální součinitel vzpěrnosti
$N_{b,Rd}$ [kN]	921,624	únosnost ve vzpěrném tlaku
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka na únosnost ve vzpěrném tlaku
$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	85,65%	využití průřezu

## 19. Plechobetonový strop - trapézový plech

Strop nad 1.NP je tvořen ocelovými průvlaky, trapézovým plechem (trapézový plech je uložen tak, aby užší žebra byla na horní straně a širší vlny na straně spodní) a betonovou deskou. Trapézový plech je uložen na průvlacích jako prostý nosník. Využití 2.NP bylo navrženo jako administrativní část s možností výstavby přemístitelných příček s vlastní tíhou  $\leq 2,0 \text{ kN/m}$  - značky Rigips. Podlaha je tvořena vrstvou anhydridu tl. 30 mm, podlahovým topením tl. 20 mm a tepelnou izolací tl. 50 mm sloužící jako zvuková izolace pro dosažení dostatečné kročejové neprůzvučnosti. Trapézový plech je navržen s koncovým kotvením, a to spřahovacími trny do průvlaku. Toto kotvení, jak bude vypočteno níže, je rozhodující pro návrh průvlaku a otázku posouzení průvlaku jako ocelobetonového prvku, nikoliv jako spřažení trapézového plechu a betonové desky.

Konstrukční ocel	S355J0
Beton	C25/30
Trapézový plech	TR 160/250 – 1,5

### Základní rozměry nosné konstrukce stropu

$L_{TR} [\text{m}]$	6 délka trapézového plechu
$L_p [\text{m}]$	7,5 délka průvlaku
$L_{prů} [\text{m}]$	6 osová vzdálenost průvlaků
$h_b [\text{m}]$	0,1 tloušťka betonové desky
$h_{b,s} [\text{m}]$	0,106 srovnávací tloušťka žeber - vyrovnaná tloušťka betonu v žebrech na 1 m'
$h_p [\text{m}]$	0,161 výška vlny trapézového plechu
$b_0 [\text{m}]$	0,164 střední šířka mezi dvěma vlnami trapézového plechu
$b_{zeber} [\text{m}]$	0,25 osová vzdálenost žeber
$b_{dolní} [\text{mm}]$	116 šířka žebra trapézového plechu
$b_{horní} [\text{mm}]$	42 šířka vlny trapézového plechu

### Zatížení stropu

$q_{k,u} [\text{kN/m}^2]$	2,5 užité zatížení stropu - administrativa
$q_{k,p} [\text{kN/m}^2]$	0,8 přemístitelné příčky s vlastní tíhou $\leq 2,0 \text{ kN/m}$
$q_k [\text{kN/m}^2]$	3,3 celkové užité zatížení stropu ( $q_{k,u} + q_{k,p}$ )
$g_{k,podhled} [\text{kN/m}^2]$	0,190 zatížení vyvolané tíhou podhledu

$g_{k,VZT}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,250	rozvody zavěšené na trapézový plech
$g_{k,podlaha}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,100	zatížení vyvolané tíhou podlahy
$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,540	ostatní stálé zatížení ( $g_{k,podhled} + g_{k,VZT} + g_{k,podlaha}$ )
$g_{k,plech}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,242	zatížení vyvolané hmotností trapézového plechu
$g_{k,bet}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	5,588	stálé zatížení při betonáži ( $g_{k,plech} + (h_b + h_{b,s}) * 26$ )
$q_{k,bet,3}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,500	proměnné při betonáži na délce 3,0 m
$q_{k,bet,jin}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,750	proměnné při betonáži jinde
$g_{d,bet}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	7,544	výpočtová hodnota stálého zatížení při betonáži ( $g_{k,plech} + (h_b + h_{b,s}) * 26$ ) * 1,35
$q_{d,bet,3}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,250	výpočtová hodnota proměnného zatížení při betonáži na délce 3,0 m
$q_{d,bet,jin}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	1,125	výpočtová hodnota proměnného zatížení při betonáži jinde

### 19.1. Návrh trapézového plechu

#### Materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	2942	plocha plného průřezu na 1 m šířky
$W_{y,eff}^+$ [mm <sup>3</sup> ]	102330	průřezový modul efektivního průřezu pro únosnost na 1 m délky
$W_{y,eff}^-$ [mm <sup>3</sup> ]	98650	průřezový modul efektivního průřezu pro únosnost na 1 m délky
$I_{y,eff}^+$ [mm <sup>4</sup> ]	9402000	moment setrvačnosti efektivního průřezu pro použitelnost na 1 m délky
$I_{y,eff}^-$ [mm <sup>4</sup> ]	9402000	moment setrvačnosti efektivního průřezu pro použitelnost na 1 m délky
$f_{ck}$ [MPa]	25	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech
$\gamma_c$ [-]	1,5	dílčí součinitel pro beton
$E_{cm}$ [MPa]	31000	sečnový modul pružnosti betonu

#### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$M_{Ed}^+$ [kNm]	42,806	návrhová hodnota ohybového momentu v poli
------------------	--------	---

**Mezní stav únosnosti - únosnost trapézového plechu při betonáži**

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{y,eff}^+ \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}^+$ [kNm]	36,327	plastická únosnost v ohybu v poli
$M_{pl,Rd}^+ \geq M_{Ed}^+$	<b>NEVYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed}^+ / M_{pl,Rd}^+$	117,83%	využití průřezu

**Mezní stav použitelnosti trapézového plechu při betonáži**

$$\delta_{max} = \frac{1}{E \cdot I_{y,eff}^+} \cdot \frac{5}{384} \cdot g_{k,bet} \cdot L_{TR}^4$$

$\delta_{max}$ [mm]	47,759	maximální průhyb při betonáži
$\delta_{lim,rybnik}$ [mm]	26,100	limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt 1/10*(h <sub>b</sub> + h <sub>p</sub> ) dle ČSN EN 1994-1-1 čl. 9.3.2
$\delta_{lim}$ [mm]	33,333	limit průhybu trapézového plechu L <sub>TR</sub> /180 dle ČSN EN 1994-1-1 národní příloha NA
$\delta_{lim,rybnik} > \delta_{max}$	<b>NEVYHOVUJE</b>	
$\delta_{lim} > \delta_{max}$	<b>NEVYHOVUJE</b>	
$g_{k,rybnik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,869211567	přídavné zatížení vyvolané rybníkovým efektem ( $\delta_{max} \cdot 0,7 \cdot 26$ )

**Návrh zohledňující montážní podpory**

S ohledem na to, že samotný, v poli nepodepřený, trapézový plech nevyhoví na mezní stav únosnosti při betonáži, jsou navrženy montážní podpory v polovině rozpětí.

**Návrhové hodnoty vnitřních sil**

$M_{Ed}^+$ [kNm]	6,73	návrhová hodnota ohybového momentu v poli
$M_{Ed}^-$ [kNm]	9,61	návrhová hodnota ohybového momentu nad podporou
$M_{l,g,k,bet}$ [kNm]	5,82	moment nad podporou od $g_{k,bet}$

**Mezní stav únosnosti - únosnost trapézového plechu při betonáži**

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{y,eff}^- \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}^-$ [kNm]	35,021	plastická únosnost v ohybu v poli
$M_{pl,Rd}^- \geq M_{Ed}^-$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu

$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$  27,44% využití průřezu

### Mezní stav použitelnosti trapézového plechu při betonáži

$$\delta_{max} = \frac{1}{E \cdot I_{y,eff}^+} \cdot \frac{5}{384} \cdot g_{k,bet} \cdot L_{TR/2}^4 - \frac{1}{E \cdot I_{y,eff}^-} \cdot \frac{1}{16} \cdot M_{1,g,k,bet} \cdot L_{TR/2}^2$$

$\delta_{max}$  [mm] 41,127 maximální průhyb při betonáži

$\delta_{lim,rybnik}$  [mm] 26,100 limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt  
1/10\*( $h_b + h_p$ ) dle ČSN EN 1994-1-1 čl. 9.3.2

$\delta_{lim}$  [mm] 16,667 limit průhybu trapézového plechu  $L_{TR/2}/180$  dle ČSN EN 1994-1-1 národní příloha NA

$\delta_{lim,rybnik} > \delta_{max}$  **NEVYHOVUJE**

$\delta_{lim} > \delta_{max}$  **NEVYHOVUJE**

$g_{k,rybnik}$  [kN/m<sup>2</sup>] 0,7485 přidavné zatížení vyvolané rybníkovým efektem ( $\delta_{max} * 0,7 * 26$ )

### Mezní stav únosnosti trapézového plechu - provozní stav

V prvé řadě bude plechobetonový strop posuzován jako spřažený s tím, že smykové síly budou přenášeny pomocí koncových trnů.

### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$V_{Ed}$  [kN] 50,799 návrhová hodnota posouvající síly

$M_{Ed}$  [kNm] 76,199 návrhová hodnota ohybového momentu

### Únosnost v ohybu

$$x = \frac{\frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}}}{\frac{1,0 \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}} * \left( h_a - \frac{x}{2} \right)$$

$h_a$  [m] 0,218 vzdálenost mezi těžištěm trapézového plechu a vnějším krajem betonové desky

$x$  [m] 0,074 výška tlačené části betonové desky a poloha neutrální osy od vnějšího kraje betonové desky

$x \leq h_b$  **VYHOVUJE** podmínky polohy neutrální osy, zda je v betonové desce

$M_{pl,Rd}$ [kNm]	189,394	plastická únosnost v ohybu při plném spřažení
$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$	40,23%	využití průřezu

**Spřažení - spřahovací trn typu SD**

$$\min \begin{cases} P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\gamma_v} \\ P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} \end{cases}$$

$$P_{Rd,r} = P_{Rd} \cdot k_t$$

$$k_\varphi = 1 + \frac{a}{d_{d0}} \leq 6,0$$

$$P_{pb,Rd} = k_\varphi \cdot d_{d0} \cdot t \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\min \begin{cases} N_{cf} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{cf} = \frac{A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \end{cases}$$

t [mm]	1,5	tloušťka trapézového plechu
a [mm]	50	vzdálenost od konce trnu po konec plechu
d [mm]	19	průměr spřahovacího trnu
$d_{d0}$ [mm]	20,9	průměr svarového límečku ( $d_{d0} = d \cdot 1,1$ )
$h_{sc}$ [mm]	210	výška trnu snižená o 5 mm
$f_u$ [MPa]	450	mez pevnosti spřahovacího trnu
$\gamma_v$ [-]	1,25	dílčí součinitel
$\alpha$ [-]	1	součinitel
$P_{Rd}$ [kN]	73,730	návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku dle ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.6.3.1
$k_\phi$ [-]	3,392	součinitel
$P_{pb,Rd}$ [kN]	37,754	návrhová únosnost trnu přivařeného průvarem skrz plech a použitého jako koncové kotvení plechobetonové desky
$n_r$ [-]	1	počet trnů v jednom žeburu v příčném řezu (dle podmínek ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.6.5.7)



$k_l$ [-]	0,186	redukční součinitel dle ČSN EN 1994-1-1 čl. 9.7.4 bod (3)
$P_{Rd,r}$ [kN]	7,023	návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku redukováná redukčním součinitelem
$N_{cf}$ [kN]	1044,41	návrhová velikost podélné smykové síly
$n_f$ [ks]	149	minimální počet trnů koncového kotvení na 1 m' plechobetonové desky

Ke spřažení pomocí koncových trnů nemůže dojít, proto bude betonová deska navržena jako nespřažená s trapézovým plechem jako ztraceným bedněním. Ke spřažení by bylo třeba použít speciální profily jako trapézové plechy s výstupky nebo samosvorné plechy. Tyto profily jsou však svou cenou a dostupností nevhodné, zejména také k omezenému množství kusů, které by bylo třeba pro výstavbu předmětné haly. Z těchto důvodů bude dále pro případ betonové desky uvažován zvolený trapézový plech jako ztracené bednění. Betonová žebrová deska je navržena jako prostý nosník o jednom poli. S ohledem na rozměry vln trapézového plechu bude v každé vlně umístěn jeden profil nosné výztuže. Třmínky budou zajišťovat polohu hlavní nosné výztuže, aby bylo zajištěno navržené krytí, a budou svázány s kari sítí položenou na horní straně trapézového plechu. Třmínky tedy plní funkci rozdělovací výztuže. Materiál výztuže byl navržen B 420B.

## 19.2. Betonová žebrová deska

### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$V_{Ed}$ [kN]	50,799	návrhová hodnota posouvající síly
$M_{Ed}$ [kNm]	76,199	návrhová hodnota ohybového momentu
$f_{y,s}$ [MPa]	400	napětí na mezi kluzu
$\gamma_s$ [-]	1,15	dílčí součinitel spolehlivosti výztuže pro prostou únosnost
$f_{ck}$ [MPa]	25	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech
$f_{ctm}$ [Mpa]	2,6	charakteristická hodnota pevnosti betonu v tahu
$\gamma_c$ [-]	1,5	dílčí součinitel pro beton

$$s_{min} = \max(1,2 \cdot \phi; d_g + 5; 20)$$

$$s_{max} = \min(2 \cdot h_s; 300)$$

$$A_{s,min,1} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot 1,0 \cdot d}{f_{y,s}}$$

$$A_{s,min,2} = 0,0013 \cdot 1,0 \cdot d$$

$$A_{s,min} = \max(A_{s,min,1}; A_{s,min,2})$$

$$d = h_s - c_{nom} - \varnothing_{tř} - \frac{\varnothing}{2}$$

$$x = \frac{A_s \cdot \frac{f_{y,s}}{\gamma_s}}{0,8 \cdot 1,0 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot \frac{f_{y,s}}{\gamma_s} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$h_s$ [m]	0,261	celková výška betonové desky
$d_g$ [m]	0,032	největší jmenovitý rozměr zrna kameniva
$\varnothing$ [mm]	20	navržený profil nosné výztuže
	4	počet prutů nosné výztuže na 1 m' betonové desky
min [m]	0,23	minimální světlá vzdálenost prutů hlavní nosné výztuže
max [m]	0,23	maximální osová vzdálenost prutů hlavní nosné výztuže
$s_{min}$ [m]	0,037	minimální světlá vzdálenost jednotlivých prutů hlavní nosné výztuže dle ČSN EN 1992-1-1 čl. 8.2
$s_{max}$ [m]	0,522	maximální osová vzdálenost jednotlivých prutů hlavní nosné výztuže dle ČSN EN 1992-1-1 národní příloha NA.2.89
<b>VYHOVUJE</b> podmínka maximální vzdálenosti jednotlivých prutů hlavní nosné výztuže		
<b>VYHOVUJE</b> podmínka minimální vzdálenosti jednotlivých prutů hlavní nosné výztuže		
$A_s$ [m <sup>2</sup> ]	0,001257	plocha nosné výztuže na 1 m' betonové desky
$A_{s,min,1}$ [m <sup>2</sup> ]	0,000362	minimální plocha 1 hlavní nosné výztuže
$A_{s,min,2}$ [m <sup>2</sup> ]	0,000278	minimální plocha 2 hlavní nosné výztuže
$A_{s,min}$ [m <sup>2</sup> ]	0,000362	minimální plocha hlavní nosné výztuže
<b>VYHOVUJE</b> podmínka minimální plochy hlavní nosné výztuže		
$\varnothing_{tř}$ [mm]	12	navržený profil třmínku
[m]	0,2	osová vzdálenost třmínků

$s_{\max, \text{tř}} [\text{m}]$	0,783	maximální osová vzdálenost jednotlivých prutů rozdělovací výztuže dle ČSN EN 1992-1-1 národní příloha NA.2.89
<b>VYHOVUJE</b> podmínka maximální vzdálenosti jednotlivých prutů rozdělovací výztuže		
$A_{s, \text{tř}} [\text{m}^2]$	0,000565	plocha třmínků na 1 m <sup>2</sup> desky
$A_{s, \min, \text{tř}} [\text{m}^2]$	0,000251	minimální plocha rozdělovací výztuže dle ČSN EN 1992-1-1 čl. 9.3.1.1
<b>VYHOVUJE</b> podmínka minimální plochy rozdělovací výztuže		
$c_{\text{nom}} [\text{m}]$	0,025	minimální krytí s ohledem na prostředí, ve kterém se betonová deska nachází dle ČSN EN 1992-1-1
$d [\text{m}]$	0,214	vzdálenost od osy výztuže po horní okraj betonové desky
$x [\text{m}]$	0,032	výška tlacené části betonové desky a poloha neutrální osy od horního okraje betonové desky
$M_{\text{Rd}} [\text{kNm}]$	87,946	únosnost v ohybu betonové desky
$M_{\text{Rd}} \geq M_{\text{Ed}}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro únosnost v ohybu
$M_{\text{Ed}} / M_{\text{Rd}}$	86,64%	využití průřezu

### Únosnost ve smyku

S ohledem na relativně malou posouvající sílu působící na betonovou desku není navržena smyková výztuž, ale je v první řadě posouzena únosnost ve smyku bez smykové výztuže. Při stanovení smykové únosnosti desky je zanedbán příspěvek kari sítě i trapézového plechu, které mají bezesporu pozitivní vliv na smykovou únosnost.

$$C_{\text{Rd},c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad \text{kde } d \text{ je v mm}$$

$$b_w = \frac{1}{b_{\text{vln}}} \cdot b_{\text{dolní}}$$

$$\rho_l = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

$$V_{\text{Rd},c,1} = [C_{\text{Rd},c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{\text{Rd},c,\min} = (0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{\text{Rd},c} = \max(V_{\text{Rd},c,1}; V_{\text{Rd},c,\min})$$

$C_{Rd,c}$ [-]	0,12	součinitel
$k$ [-]	1,967	součinitel
$b_w$ [m]	0,464	nejmenší šířka průřezu v tažené oblasti (celková šířka spodních vln trapézového plechu na 1 m délky)
$\rho_l$ [-]	0,013	stupeň vyztužení podélnou výztuží
$V_{Rd,c,l}$ [kN]	74,119	výpočtová smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$V_{Rd,c,min}$ [kN]	47,928	minimální smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$V_{Rd,c}$ [kN]	74,119	výsledná smyková únosnost betonu bez smykové výztuže
$V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro únosnost ve smyku
$V_{Ed} / V_{Rd,c}$	68,54%	využití průřezu

## 20. Plechobetonový strop - průvlak

Profil průvlaku

IPE500

### Zatížení při betonáži

$L_p$ [m]	7,5	délka průvlaku
$L_m$ [m]	6	osová vzdálenost průvlaků
$g_{k,IPE}$ [kN/m]	0,907	vlastní tíha průvlaku
$g_{k,bet}$ [kN/m]	33,527	stálé zatížení při betonáži $(g_{k,plech} + (h_b + h_{b,s}) * 26) * L_m$
$g_{k,celk}$ [kN/m]	34,434	celkové stálé zatížení při betonáži a šířce $L_m$
$q_{k,bet,3}$ [kN/m]	6,750	proměnné při betonáži na délce 3,0 m a šířce $L_m$
$q_{k,bet,jin}$ [kN/m]	4,500	proměnné při betonáži jinde a šířce $L_m$
$g_{d,celk}$ [kN/m]	46,487	výpočtová hodnota stálého zatížení při betonáži $0,35 * g_{k,IPE} + (g_{k,plech} + (h_b + h_{b,s}) * 26) * 1,35 * L_m$
$q_{d,bet,3}$ [kN/m]	10,125	výpočtová hodnota proměnného zatížení při betonáži na délce 3,0 m a šířce $L_m$
$q_{d,bet,jin}$ [kN/m]	6,750	výpočtová hodnota proměnného zatížení při betonáži jinde a šířce $L_m$

### Návrh stropnice - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	11550	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	5987	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	482000000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	21420000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	1928000	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	2194000	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	214200	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	335900	plastický modul průřezu k ose z
$i_y$ [mm]	204,283	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	43,1	poloměr setrvačnosti k ose z

$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	1,249E+12	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	892900	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	500	výška nosníku
$b$ [mm]	200	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	10,2	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	16	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	21	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
	1	třída průřezu stojiny pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu přečnívající části pásnice pro ohyb dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>1 výsledná třída průřezu pro ohyb</b>	
$f_{ck}$ [MPa]	25	charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku po 28 dnech
$\gamma_c$ [-]	1,5	dílčí součinitel pro beton
$E_{cm}$ [MPa]	31000	sečnový modul pružnosti betonu

#### Mezní stav použitelnosti průvlaku - při betonáži

$$\delta_{max} = \frac{1}{E \cdot I_y} \cdot \frac{5}{384} \cdot g_{k,celk} \cdot L_p^4$$

$\delta_{max}$ [mm]	14,016	maximální průhyb při betonáži
$\delta_{lim,rybnik}$ [mm]	30	limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt ( $L_p/250$ )
$\delta_{lim,rybnik2}$ [mm]	20	limit průhybu, kdy není třeba uvažovat rybníkový efekt (20 mm)
$\delta_{lim,rybnik} > \delta_{max}$	<b>VYHOVUJE</b>	
$\delta_{lim,rybnik2} > \delta_{max}$	<b>VYHOVUJE</b>	

#### Mezní stav únosnosti průvlaku - při betonáži

##### Návrhové hodnoty vnitřních sil

$V_{Ed}$ [kN]	207,737	návrhová hodnota posouvající síly
$M_{Ed}$ [kNm]	389,507	návrhová hodnota ohybového momentu

**Únosnost ve smyku**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$  [kN]                      1227,092    plastická únosnost ve smyku

$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$             **VYHOVUJE**    posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku

$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$                       16,93%    využití průřezu

BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU

**Únosnost v ohybu bez ztráty stability**

Trapézový plech je uložen vlnami kolmo na průvlak a prostřednictvím spřáhnutí spřahovacími trny brání klopení tlačené části nosníku.

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{pl,Rd}$  [kNm]                      778,87    plastická únosnost v ohybu

$M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$             **VYHOVUJE**    posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu

$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$                       50,01%    využití průřezu

**Mezní stav únosnosti průvlaku - provozní stav****Návrhové hodnoty vnitřních sil**

$V_{Ed}$  [kN]                      362,852    návrhová hodnota posouvající síly

$M_{Ed}$  [kNm]                      680,348    návrhová hodnota ohybového momentu

**Únosnost ve smyku**

Vliv betonové desky na únosnost ve smyku zanedbáváme - strana bezpečnosti, protože beton má, byť minimální, únosnost ve smyku, a beton tedy ve skutečnosti zvyšuje námi stanovenou únosnost ve smyku.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{pl,Rd}$  [kN]                      1227,092    plastická únosnost ve smyku

$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$             **VYHOVUJE**    posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku

$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$                       29,57%    využití průřezu

BEZ REDUKCE ÚNOSNOSTI V OHYBU

**Posouzení vlivu smykového boulení** $\eta [-]$ 

1,2 součinitel dle ČSN EN 1993-1-5 národní přílohy NA

**VYHOVUJE** podmínka, za které není třeba posuzovat smykové boulení**Únosnost v ohybu**

Pro výpočet únosnosti v ohybu bylo třeba stanovit polohu neutrální osy ocelobetonového průřezu. Předpoklad polohy neutrální osy v betonové desce (jak je uveden níže) se nepotvrdil, a proto byl zvolen nový předpoklad a to poloha neutrální osy v horní pásnici ocelového nosníku. Tento předpoklad se potvrdil a ohybová únosnost byla stanovena k neutrální ose procházející horní pásnicí ocelového profilu.

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{ei} = 2 \cdot \frac{L_s}{8} < 2 \cdot \frac{L_m}{2}$$

Předpoklad polohy neutrální osy v betonové desce

$$x = \frac{\frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}}}{\frac{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c}}$$

Předpoklad polohy neutrální osy v horní pásnici ocelového nosníku

$$x = \frac{0,85 \cdot A_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + 2 \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} - \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}}}{2 \cdot b \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \left( h_a - \frac{h_b}{2} \right) - 2 \cdot b \cdot (h - x) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \left( h_p + h_b + \frac{h - x}{2} - \frac{h_b}{2} \right)$$

 $b_{eff} [m]$ 

1,875 celková účinná šířka

 $h_a [m]$ 

0,511 vzdálenost mezi těžištěm ocelového nosníku a vnějším krajem betonové desky

 $x [m]$ 

0,154 výška tlačené části betonové desky a poloha neutrální osy od vnějšího kraje betonové desky

 $x \leq h_b$ **NEVYHOVUJE** podmínky polohy neutrální osy, zda je v betonové desce $x [m]$ 

0,490 poloha neutrální osy od spodního líce ocelového nosníku

**VYHOVUJE** podmínka polohy neutrální osy, zda se nachází v horní pásnici $M_{pl,Rd} [kNm]$ 

1578,189 plastická únosnost v ohybu při plném spřažení

 $M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$ **VYHOVUJE** posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu



$M_{Ed} / M_{pl,Rd}$ 

43,11% využití průřezu

**Spřažení - spřahovací trn typu SD**

$$\min \left\{ \begin{array}{l} P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\gamma_v} \\ P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} \end{array} \right.$$

$$P_{Rd,r} = P_{Rd} \cdot k_l$$

$$\min \left\{ \begin{array}{l} N_{cf} = \frac{A_a \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{cf} = \frac{A_c \cdot 0,85 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \end{array} \right.$$

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P_{Rd,r}}$$

$$N_c = n_{sk} \cdot P_{Rd,r}$$

$$\eta = \frac{N_c}{N_{cf}} = \frac{n_{sk}}{n_f}$$

d [mm]	19 průměr spřahovacího trnu
h <sub>sc</sub> [mm]	200 výška trnu snižená o 5 mm
f <sub>u</sub> [MPa]	450 mez pevnosti spřahovacího trnu
γ <sub>v</sub> [-]	1,25 dílčí součinitel
α [-]	1 součinitel
P <sub>Rd</sub> [kN]	73,730 návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku dle ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.6.3.1
n <sub>r</sub> [-]	2 počet trnů v jednom žeburu v příčném řezu (dle podmínek ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.6.5.7)
k <sub>t</sub> [-]	0,122 redukční součinitel
P <sub>Rd,r</sub> [kN]	9,005 návrhová únosnost trnu s hlavou ve smyku redukovaná redukčním součinitelem
N <sub>cf</sub> [kN]	2656,25 návrhová velikost podélné smykové síly
n <sub>f</sub> [ks]	295 minimální počet trnů na jednu polovinu nosníku pro zajištění plného spřažení
n <sub>sk</sub> [ks]	30 skutečný počet trnů na polovinu nosníku (mezi kritickými

		průřezy $V_{\max}$ a $M_{\max}$ )
$n_f \leq n_{sk}$	<b>ČÁSTEČNĚ</b>	podmínka plného spřežení
$N_c$ [kN]	270,151	redukována tlaková síla v betonové desce (ČSN EN 1994-1-1 čl. 6.2.1.3)
$\eta$ [-]	0,102	stupeň smykového spojení
	<b>NEVYHOVUJE</b>	podmínka duktility (houževnatosti)
$M_{pl,a,Rd}$ [kNm]	778,87	plastická únosnost ocelového nosníku v ohybu
$M_{Rd}$ [kNm]	-	plastická únosnost v ohybu při částečném spřažení
$M_{pl,a,Rd} \geq M_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v ohybu
$M_{Ed} / M_{pl,a,Rd}$	87,35%	využití průřezu

Podmínka duktility (houževnatosti) nebyla splněna, a proto není možné počítat ani s částečným spřežením ocelového průvlaku s trapézovým plechem a betonovou deskou. Spřahovací trny společně s trapézovým plechem a betonovou deskou ale zajišťují polohu horní tlačené pásnice proti klopení. Proto byl ocelový průvlak také v provozním stavu posouzen na prostý ohyb bez vlivu klopení.

## 21. Plechobetonový strop - sloup

Ocelobetonový strop je nesen ocelovými sloupy profilu HEA. V místě hlavy sloupu je styk dvou průvlaků, které jsou ke sloupu připojeny kloubově. Sloupy jsou podepřeny patkami, se kterými jsou spojeny kloubově (tuhost spoje společně s podélným a příčným ztužidlem zajišťuje stabilitu při montáži - připevnění průvlaků a stropnic - a tím je zajištěna následná stabilita sloupu).

Profil sloupu HEA200

Konstrukční ocel S355J0

### Zatížení sloupu

$L$ [m]	4,2	výška sloupu
$g_{k,HEA}$ [kN/m]	0,423	charakteristická hodnota vlastní tíhy sloupu
$g_{d,HEA}$ [kN/m]	0,571	návrhová hodnota vlastní tíhy sloupu
$F_{d,průvlak}$ [kN]	725,704	návrhová hodnota zatížení průvlaků

### Návrhová hodnota vnitřních sil

$N_{Ed}$ [kN]	728,103	návrhová hodnota normálové síly
---------------	---------	---------------------------------

### Návrh sloupu - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M1}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro stabilitní únosnost
$E$ [MPa]	210000	modul pružnosti v tahu a tlaku
$G$ [MPa]	81000	modul pružnosti ve smyku
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	5380	plocha průřezu
$A_{vz}$ [mm <sup>2</sup> ]	1810	plocha stěny ve smyku
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	36900000	moment setrvačnosti k ose y
$I_z$ [mm <sup>4</sup> ]	13360000	moment setrvačnosti k ose z
$W_{el,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	389000	pružný modul průřezu k ose y
$W_{pl,y}$ [mm <sup>3</sup> ]	429500	plastický modul průřezu k ose y
$W_{el,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	133600	pružný modul průřezu k ose z
$W_{pl,z}$ [mm <sup>3</sup> ]	203800	plastický modul průřezu k ose z
$i_y$ [mm]	82,817	poloměr setrvačnosti k ose y
$i_z$ [mm]	49,832	poloměr setrvačnosti k ose z

$I_w$ [mm <sup>6</sup> ]	1,08E+11	výsečový moment setrvačnosti
$I_t$ [mm <sup>4</sup> ]	209800	moment tuhosti v prostém kroucení
$h$ [mm]	190	výška nosníku
$b$ [mm]	200	šířka pásnice
$t_w$ [mm]	6,5	tloušťka stojiny
$t_f$ [mm]	10	tloušťka pásnice
$r$ [mm]	18	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou
$\varepsilon$ [-]	0,814	poměrné přetvoření dle ČSN EN 1993-1-1 článek 6.3.1.3
	2	třída průřezu přecházející části pásnice pro tlak dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	1	třída průřezu stojiny pro tlak dle ČSN EN 1993-1-1 tabulka 5.2
	<b>2</b>	<b>výsledná třída průřezu pro tlak</b>

### Mezní stav únosnosti

#### Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{ale} \quad \chi \leq 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$L_{cr,y}$ [m]	4,2	vzpěrná délka pro vybočení v rovině příčné vazby
$\lambda_y$ [-]	50,714	štíhlost k ose y
$\lambda_1$ [-]	76,155	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}_y$ [-]	0,666	poměrná štíhlost k ose y
	b	křivka vzpěrné pevnosti y-y

$\alpha_y$ [-]	0,34	součinitel imperfekce k ose y
$\phi_y$ [-]	0,801	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose y
$\chi_y$ [-]	0,803	součinitel vzpěrnosti k ose y
$L_{cr,z}$ [m]	4,2	vzpěrná délka pro vybočení z roviny příčné vazby
$\lambda_z$ [-]	84,282	štíhlost k ose z
$\lambda_1$ [-]	76,399	štíhlost pro kritické napětí rovno mezi kluzu pro výpočet poměrné štíhlosti
$\bar{\lambda}_z$ [-]	1,103	poměrná štíhlost k ose z c křivka vzpěrné pevnosti z-z
$\alpha_z$ [-]	0,49	součinitel imperfekce k ose z
$\phi_z$ [-]	1,330	hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti k ose z
$\chi_z$ [-]	0,483	součinitel vzpěrnosti k ose z
$\chi_{min}$ [-]	0,483	minimální součinitel vzpěrnosti
$N_{b,Rd}$ [kN]	921,624	únosnost ve vzpěrném tlaku
$N_{b,Rd} \geq N_{ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka na únosnost ve vzpěrném tlaku
$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	79,00%	využití průřezu

## 22. Srovnání variant hlavní nosné konstrukce vloženého patra

Při srovnání jednotlivých variant, a to první varianty představované ocelobetonovým stropem se stropnicemi a druhé varianty představované plechobetonovým stropem bez stropnic, byla hlavním kritériem celková konstrukční výška stropní konstrukce od horní hrany betonové desky po spodní hranu průvlaku. V případě první varianty je tato celková konstrukční výška 460 mm. V případě druhé varianty je celková konstrukční výška 761 mm. Rozdíl v konstrukční výšce stropu je tedy 301 mm, což představuje podstatný rozdíl. Přesto, že lze průvlaky zakomponovat do dispozice, tvoří překážku rozvodům inženýrských sítí a technického zařízení budovy (například vzduchotechniky).

Druhým podstatným kritériem při posuzování daných dvou variant v rámci této diplomové práce byla složitost přípojů vodorovných nosných prvků stropní konstrukce ke sloupu, jakožto svislé hlavní nosné konstrukci nesoucí strop. V případě první varianty se jedná o spoj dvou stropnic a dvou průvlaků v hlavě sloupu. V případě druhé varianty se jedná o styk dvou průvlaků v hlavě sloupu. Je tedy zřejmé, že složitějším stykem, vhodným k prokázání nabytých vědomostí, je styk v hlavě sloupu v rámci první varianty.

Z výše uvedených důvodů byla zvolena první varianta, která je složitější jak co se týče styku v hlavě sloupu, tak vhodnější z důvodu nižší konstrukční výšky stropu.

## 23. Podélné a příčné ztužení vestavěného patra

Konstrukce ocelobetonového stropu, respektive spoje jednotlivých prvků (sloupu se stropnicemi a průvlaky, stropnic s průvlaky a sloupů se základovými patkami) jsou kloubové, a proto je nezbytné navrhnout a posoudit vodorovné a příčné (s ohledem na orientaci podélné a příčné osy haly) ztužení. Navrženo bylo jedno podélné a jedno příčné ztužidlo tvořené vždy dvěma diagonálami vzájemně se křížícími. Samotné diagonály byly navrženy jako plné ocelové kruhové tyče namáhané na tah (tlačená diagonála bude uvažována jako vybočená a tedy nepřenášející žádné zatížení). Vodorovné zatížení působící na konstrukci vestavěného patra bude vyvoláno jen uvažovanými imperfekcemi nosné soustavy, na rozdíl od ztužidel samotné haly, které kromě vlivu imperfekcí přenáší také účinky zatížení větrem působícím na štítové stěny haly. Vliv imperfekcí vestavěného patra bude zaveden počátečním natočením sloupů  $\Phi$ , jehož hodnota je  $\Phi = 1/200$ . Účinek natočení bude ve výpočtu nahrazen dvojicí vodorovných sil s ekvivalentním účinkem  $H_{\Phi} = \Phi * \Sigma N$ . Pro výpočet ekvivalentní dvojce sil bude uvažována celková tíha ocelobetonového stropu (přestože jsou některé sloupy zatíženy jen ze tří stran, byla ve výpočtu uvažována i tíha stropu přenášená do sloupů příhradového vazníku - na stranu bezpečnosti).

Konstrukční ocel	S355J0
$f_y$ [MPa]	355 napětí na mezi kluzu
$\gamma_{M0}$ [-]	1 dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost

### Základní rozměry konstrukce a působící zatížení

$L$ [m]	4,2	výška sloupu
$L_s$ [m]	7,5	délka stropnice
$L_p$ [m]	6	délka průvlaku
$x$ [ks]	15	počet sloupů
$N_{ed,1}$ [kN]	789,362	návrhová hodnota normálové síly jednoho sloupu
$N_{ed,celk}$ [kN]	11840,423	celková návrhová hodnota normálové síly sloupů
$H_{d,\Phi}$ [kN]	59,202	návrhová hodnota ekvivalentní dvojce sil

### Ztužidla podélného směru (ve směru průvlaků)

$L_z$ [m]	7,324	délka ztužidla
$\phi_1$ [°]	34,99	úhel mezi diagonálou a průvlakem
$N_{ed}$ [kN]	72,265	návrhová hodnota normálové síly ztužidla

$d$  [mm] 20 průměr ocelové tyče ztužidla

$A$  [mm<sup>2</sup>] 314,159 plocha ocelové tyče ztužidla

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$  [kN] 111,527 návrhová plastická únosnost v tahu

$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$  **VYHOVUJE** posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v tahu

$N_{Ed} / N_{t,Rd}$  64,80% využití průřezu

### **Ztužidla příčného směru (ve směru stropnic)**

$L_z$  [m] 8,596 délka ztužidla

$\phi_1$  [°] 29,25 úhel mezi diagonálou a průvlakem

$N_{Ed}$  [kN] 67,853 návrhová hodnota normálové síly ztužidla

$d$  [mm] 20 průměr ocelové tyče ztužidla

$A$  [mm<sup>2</sup>] 314,159 plocha ocelové tyče ztužidla

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$  [kN] 111,527 návrhová plastická únosnost v tahu

$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$  **VYHOVUJE** posouzení - podmínka pro plastickou únosnost v tahu

$N_{Ed} / N_{t,Rd}$  60,84% využití průřezu



## 24. Styčník - 2 stropnice, 2 průvlaky a sloup

Jako montážně nejsložitější styčník vestavěného patra bylo vyhodnoceno napojení 2 stropnic a 2 průvlaků na sloup ocelobetonového stropu. S ohledem na stísněné podmínky při montáži a relativně malý profil sloupu je nutné stanovit také postup montáže. Jak stropnice, tak průvlaky budou opatřeny navařenou čelní deskou. Průvlaky budou připevněny 4 šrouby k pásnicím sloupu a to tak, aby matky byly umístěny na vnější straně pásnice. To zajistí větší volný prostor mezi pásnicemi sloupu pro připevnění stropnic. Průvlaky není možné montovat jako druhé v pořadí, po stropnicích, protože by to znemožnilo osazení šroubů, popřípadně osazení podložek a montáž matek. Po montáži průvlaků budou připevněny stropnice také šroubovým spojem (4 šrouby) na stojinu sloupu. Tato postupná montáž zajišťuje dostatečný manipulační prostor pro osazení jednotlivých nosníků i nasazení a dotažení jednotlivých šroubů.

V obou případech (spoj stropnice i spoj průvlaku) se jedná o šroubový spoj třídy A, a proto bude posouzen na stříh a otláčení. Protože na svar čelní desky působí pouze posouvající síla, bude svar posouzen v souladu s ČSN EN 1993-1-8 čl. 4.5.3.3 zjednodušenou metodou pro návrhovou únosnost koutového svaru. Druhou metodou pro posouzení únosnosti svaru by byla metoda uvažující směr namáhání. Součástí posouzení jednotlivých spojů bude také posouzení únosnosti stěny nosníku v místě přivaření čelní desky ve smyku, která přenáší zatížení čelní desky. Z následného výpočtu je zřejmé, že koutový svar čelní desky je dostatečně únosný a mohl by být kratší, ale únosnost stěny nosníku v místě přivaření čelní desky není dostatečná pro to, aby o celkové únosnosti rozhodovala délka svaru ve vztahu k únosnosti svaru, ale rozhoduje o ní délka svaru s ohledem na únosnost stěny nosníku v místě přivaření čelní desky.

Stropnice i průvlaky budou vyrobeny se zápornou tolerancí a při montáži bude výsledná vůle odstraněna vložením hřebenové vložky. Záporná tolerance zajistí dostatečnou vůli pro provedení montáže.

Konstrukční ocel                      S355J0

### 24.1. Přípoj průvlaku

Ke stojině průvlaku bude přivařena (délka svaru je rovna výšce čelní desky) čelní deska o stejné šířce, jako je šířka pásnice sloupu a šrouby budou umístěny v minimální vzdálenosti od okraje čelní desky. Tím bude zajištěn maximální volný prostor mezi pásnicemi sloupu pro montáž stropnic. Čelní deska bude k pásnici sloupu připevněna čtyřmi nepředepjatými šrouby.

Podmínka rozteče jednotlivých šroubů s ohledem na možnost použití montážního nářadí - zavřeného klíče, je dána již minimální roztečí mezi šrouby  $2,2 \cdot d_0$  a minimální vzdálenosti od okrajů  $1,2 \cdot d_0$ . Minimální rozteč pro použití zavřeného klíče je  $2,0 \cdot d_0$ .

Šrouby M20

Pevnostní třída šroubu 5.6

### Návrhová hodnota posouvající síly

$V_{Ed}$  [kN] 197,735 návrhová hodnota posouvající síly

### Návrh čelní desky - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y$ [MPa]	355	napětí na mezi kluzu
$f_u$ [MPa]	510	napětí na mezi pevnosti
$\beta_w$ [-]	0,9	korelační součinitel
$\gamma_{M0}$ [-]	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M2}$ [-]	1,25	dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje
$f_{ub}$ [MPa]	500	napětí na mezi pevnosti šroubu
$\alpha_v$ [-]	0,6	součinitel dle ČSN EN 1993-1-8 tab. 3.4
$h$ [mm]	190	výška nosníku sloupu
$b$ [mm]	200	šířka pásnice sloupu
$t_w$ [mm]	6,5	tloušťka stojiny sloupu
$t_f$ [mm]	10	tloušťka pásnice sloupu
$r$ [mm]	18	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou sloupu
$d$ [mm]	20	průměr šroubu
$d_0$ [mm]	22	průměr díry pro šroub
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	245	plocha jádra šroubu
$e_1$ [mm]	26,4	vzdálenost od konce ve směru působící síly
$e_2$ [mm]	26,4	vzdálenost od okraje kolmo na směr působící síly
$p_1$ [mm]	48,4	rozteč ve směru působící síly
$p_2$ [mm]	52,8	rozteč kolmo na směr působící síly
$a$ [mm]	4	účinná výška koutového svaru čelní desky
$t_{w,průvlak}$ [mm]	7,5	tloušťka stojiny průvlastku
$h_{č,min}$ [mm]	101,2	minimální výška čelní desky s ohledem na rozteče šroubů
$b_{č,min}$ [mm]	124,414	minimální šířka čelní desky s ohledem na rozteče šroubů
$b_{č,max}$ [mm]	200	maximální šířka čelní desky s ohledem na rozměry spojovaných

prvků

$h_{\check{c}}$ [mm]	155	výška čelní desky
$b_{\check{c}}$ [mm]	200	šířka čelní desky
$t_{\check{c}}$ [mm]	10	tloušťka čelní desky

**Posouzení únosnosti spoje**

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \cdot 2 \cdot h_{\check{c}}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{h_{\check{c}} - 2 \cdot e_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{b_{\check{c}} - 2 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot \min\{t_f; t_{\check{c}}\}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$f_{vw,d}$ [MPa]	261,732	návrhová pevnost svaru ve smyku
$F_{w,Rd}$ [kN]	324,548	návrhová únosnost svaru
$F_{w,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka únosnosti svaru
$V_{Ed} / F_{w,Rd}$	60,93%	využití svaru
$\alpha_b$ [-]	0,387	součinitel dle ČSN EN 1993-1-8 tab. 3.4
$k_1$ [-]	1,66	součinitel dle ČSN EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{b,Rd}$ [kN]	209,752	únosnost navrženého spoje v otláčení
$F_{b,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka únosnosti spoje v otláčení
$V_{Ed} / F_{b,Rd}$	94,27%	využití spoje v otláčení
$F_{v,Rd}$ [kN]	235,2	únosnost navrženého spoje ve stříhu
$F_{v,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	podmínka únosnosti spoje ve stříhu
$V_{Ed} / F_{v,Rd}$	84,07%	využití spoje ve stříhu

$A_{vz} [mm^2]$	1162,5	plocha části stojiny průvlaku ve smyku
$V_{pl,Rd} [kN]$	238,265	plastická únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b>	posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku
$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$	82,99%	využití průřezu

## 24.2. Přípoj stropnice

Ke stojině stropnice bude přivařena (délka svaru je rovna výšce čelní desky) čelní deska o minimální možné konstrukční šířce, a šrouby budou umístěny v minimální vzdálenosti od okraje čelní desky. Stropnice budou prostřednictvím čelních desek připevněny ke stojině sloupu. Čelní deska bude ke stojině sloupu připevněna čtyřmi nepředepjatými šrouby. Podmínka rozteče jednotlivých šroubů s ohledem na možnost použití montážního nářadí - zavřeného klíče je dána již minimální roztečí mezi šrouby  $2,2 \cdot d_0$  a minimální vzdálenosti od okrajů  $1,2 \cdot d_0$ . Minimální rozteč pro použití zavřeného klíče je  $2,0 \cdot d_0$ .

Šrouby M20

Pevnostní třída šroubu 5.6

### Návrhová hodnota posouvající síly

$V_{Ed} [kN]$  97,873 návrhová hodnota posouvající síly

### Návrh čelní desky - materiálové, průřezové a fyzikální charakteristiky

$f_y [MPa]$	355	napětí na mezi kluzu
$f_u [MPa]$	510	napětí na mezi pevnosti
$\beta_w [-]$	0,9	korelační součinitel
$\gamma_{M0} [-]$	1	dílčí součinitel spolehlivosti pro prostou únosnost
$\gamma_{M2} [-]$	1,25	dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje
$f_{ub} [MPa]$	500	napětí na mezi pevnosti šroubu
$\alpha_v [-]$	0,6	součinitel dle ČSN EN 1993-1-8 tab. 3.4
$h [mm]$	190	výška nosníku sloupu
$b [mm]$	200	šířka pásnice sloupu
$t_w [mm]$	6,5	tloušťka stojiny sloupu
$t_f [mm]$	10	tloušťka pásnice sloupu
$r [mm]$	18	poloměr zakřivení přechodu mezi pásnicí a stojinou sloupu
$d [mm]$	20	průměr šroubu
$d_0 [mm]$	22	průměr díry pro šroub

$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	245	plocha jádra šroubu
$e_1$ [mm]	26,4	vzdálenost od konce ve směru působící síly
$e_2$ [mm]	26,4	vzdálenost od okraje kolmo na směr působící síly
$p_1$ [mm]	48,4	rozteč ve směru působící síly
$p_2$ [mm]	52,8	rozteč kolmo na směr působící síly
$a$ [mm]	4	účinná výška koutového svaru čelní desky
$t_{w, \text{stropnice}}$ [mm]	5,9	tloušťka stojiny průvlaku
$h_{\check{c}, \text{min}}$ [mm]	101,2	minimální výška čelní desky s ohledem na rozteče šroubů
$b_{\check{c}, \text{min}}$ [mm]	122,814	minimální šířka čelní desky s ohledem na rozteče šroubů
$b_{\check{c}, \text{max}}$ [mm]	134	maximální šířka čelní desky s ohledem na rozměry spojovaných prvků
$h_{\check{c}}$ [mm]	110	výška čelní desky
$b_{\check{c}}$ [mm]	124	šířka čelní desky
$t_{\check{c}}$ [mm]	10	tloušťka čelní desky

### Posouzení únosnosti spoje

$$f_u / \sqrt{3}$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \cdot 2 \cdot h_{\check{c}}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{h_{\check{c}} - 2 \cdot e_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\}$$

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \cdot \frac{b_{\check{c}} - 2 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot \min\{t_f; t_{\check{c}}\}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}}$$

$f_{vw,d}$ [MPa]	261,732	návrhová pevnost svaru ve smyku
$F_{w,Rd}$ [kN]	230,324	návrhová únosnost svaru

$F_{w,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b> podmínka únosnosti svaru
$V_{Ed} / F_{w,Rd}$	42,49% využití svaru
$\alpha_b [-]$	0,217 součinitel dle ČSN EN 1993-1-8 tab. 3.4
$k_1 [-]$	1,66 součinitel dle ČSN EN 1993-1-8 tab. 3.4
$F_{b,Rd} [kN]$	117,395 únosnost navrženého spoje v otlačení
$F_{b,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b> podmínka únosnosti spoje v otlačení
$V_{Ed} / F_{b,Rd}$	83,37% využití spoje v otlačení
$F_{v,Rd} [kN]$	235,2 únosnost navrženého spoje ve střihu
$F_{v,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b> podmínka únosnosti spoje ve střihu
$V_{Ed} / F_{v,Rd}$	41,61% využití spoje ve střihu
$A_{vz} [mm^2]$	649 plocha části stojiny průvlaku ve smyku
$V_{pl,Rd} [kN]$	133,019 plastická únosnost ve smyku
$V_{pl,Rd} \geq V_{Ed}$	<b>VYHOVUJE</b> posouzení - podmínka pro plastickou únosnost ve smyku
$V_{Ed} / V_{pl,Rd}$	73,58% využití průřezu

## 25. Výkaz výměr

Výkaz výměr byl sestaven na základě částí nosné konstrukce, které byly předmětem návrhu v rámci diplomové práce.

Tabulka 8 Výkaz výměr

Prvek	Profil	Délka [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Počet kusů [ks]	plocha celkem [m <sup>2</sup> ]	Jednotková hmotnost [kg/m <sup>2</sup> ; kg/m <sup>2</sup> ]	Hmotnost celkem [kg]
SP	SHS140x140x8	30,00	-	11	330	32,66	10777,80
HP	SHS140x140x8	30,50	-	11	335,5	32,66	10957,43
D1	SHS80x80x5	3,02	-	22	66,44	11,54	766,72
D2	SHS80x80x5	3,18	-	22	69,96	11,54	807,34
D3	SHS60x60x5	3,18	-	22	69,96	8,4	587,66
D4	SHS60x60x5	3,35	-	22	73,7	8,4	619,08
D5	SHS50x50x4	3,35	-	22	73,7	5,64	415,67
D6	SHS50x50x4	3,54	-	22	77,88	5,64	439,24
V1	SHS50x50x4	1,83	-	22	40,26	5,64	227,07
V2	SHS50x50x4	1,97	-	22	43,34	5,64	244,44
V3	SHS50x50x4	2,10	-	22	46,2	5,64	260,57
V4	SHS50x50x4	2,23	-	22	49,06	5,64	276,70
V5	SHS50x50x4	2,37	-	22	52,14	5,64	294,07
V6	SHS50x50x4	2,50	-	11	27,5	5,64	155,10
Vaznice	IPE160	12,00	-	59	708	15,8	11186,40
Vaznice krajní	IPE160	6,00	-	12	72	15,8	1137,60
Zesílení vaznice	U120	6,00	-	12	72	13,3	957,60
Sloup vazníku	HEA450	9,04	-	22	198,88	139,7	27783,54
Podélné výztuhy vetknuté patky	U280	1,10	-	44	48,4	41,8	2023,12
Příčníky vetknuté patky	U180	0,75	-	88	66	22	1452,00
Stropnice	IPE220	7,50	-	54	405	26,2	10611,00
Průvlak	IPE330	6,00	-	25	150	49,1	7365,00
Sloup ocelobetonového stropu	HEA200	4,20	-	21	88,2	42,3	3730,86
Podélné ztužidlo	SHS120x120x6	7,81	-	8	62,48	22,14	1383,31
Příčník	SHS100x100x6	6,00	-	20	120	18,21	2185,20
Střešní ztužidlo	Ø 25 mm	7,51	-	56	420,672	4,84	2036,05
Trapézový plech ocelobetonového stropu	TR 50/250/1,0	-	6,6	122	805,2	10	8052,00
Patní plech	1,1x0,5x0,04	-	0,55	22	12,1	314	3799,40
Horní trapézový plech střechy	TR 35/207/0,63	-	6,6	360	2376	6,09	14469,84
Spodní trapézový plech střechy	TR 50/250/0,75	-	6,6	360	2376	7,5	17820,00
Fasádní trapézový plech	TR 50/250/0,75	-	6,6	300	1980	7,5	14850,00
Fasádní kazeta	K180/600	-	1410		1410	16,8	23688,00
Ostatní prvky (3% z hmotnosti haly) [kg]							5440,79
Celková hmotnost oceli nosné konstrukce [kg]							186800,59
Celková hmotnost oceli nosné konstrukce [t]							186,80

Z uvedeného výkazu výměr je zřejmé, že trapézové plechy a fasádní kazety tvoří plných 42 % hmotnosti ocelové konstrukce celé haly stanovené včetně vestavěného patra.

## 26. Technická zpráva

### 26.1. Popis konstrukce

Jedná se o jednodílnou ocelovou halu s vestavěným patrem. Využití haly je stanoveno jako multifunkční se zaměřením na výzkum a vývoj nových technologií. Vestavěné patro je určeno pro administrativní účely.

Základní parametry stavby, které ovlivnily její návrh a posudek:

Hcelk [m]	10,235	celková výška haly
H [m]	9,435	výška haly k okapu
B [m]	31	šířka haly včetně obvodového pláště
B1 [m]	30	rozpětí haly (osa sloupů)
B2 [m]	7,5	vzdálenost podélných vazeb (osa sloupů)
L [m]	61	délka haly včetně obvodového pláště
L1 [m]	60	rozpětí haly (osa sloupů)
L2 [m]	6	vzdálenost příčných vazeb (osa sloupů)
$\alpha$ [°]	2,945	sklon střešní roviny
$\alpha$ [%]	5	sklon střešní roviny

Jako materiál ocelové konstrukce haly byla zvolena konstrukční ocel vhodná pro svařované ocelové konstrukce, a to S355J0, tedy tvářená ocel s napětím na mezi kluzu 355 MPa a hodnotou nárazové práce v rozsahu 27 J při teplotě 0° C.

Betonová deska vestavěného patra byla navržena z betonu C25/30.

Betonová patka byla navržena z betonu C16/20.

Výztuž betonové desky byla navržena B 420B.

Hala je zateplená. Uliční fasáda je navržena jako prosklená, zbývajících obvodových plášťů, stejně jako střešní pláště, je navržen z tenkostěnných profilů a trapézového plechu. Hala je navržena v městě Ostrava, ve II. sněhové oblasti, v oblasti pravidelně pokryté vegetací a budovami se základní rychlostí větru 25 ms<sup>-1</sup> v nadmořské výšce 290 m n/m.



## 26.2. Střešní plášť

Střešní plášť je tvořen spodním a horním trapézovým plechem a tepelnou izolací (minerální vlna ISOVER LAM30, tloušťka 150 mm, objemová tíha cca 1 kN/m<sup>3</sup>, tj.  $g_{izol} = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ kN/m}^2$ ). Podpory horního střešního pláště tvoří distanční Z profily s roztečemi 2,0 m. Spodní trapézový plech slouží jako nosná konstrukce pro rozvody technologie (VZT, kabelové rozvody, osvětlení, protipožární opatření, a podobně). Spodní trapézový plech je uložen na vaznice profilu IPE. Vaznice jsou rozděleny na sudé a liché řady, aby byly šachovnicově prostřídány krajní podpory spojitého nosníku o dvou polích a byla tím zajištěna větší prostorová tuhost. Každá sudá řada začíná zesílenou vaznicí působící jako prostý nosník. Zesílení je provedeno pomocí profilu U.

## 26.3. Obvodový plášť

Obvodový plášť je tvořen spodními kazetami, horním trapézovým plechem (TR 50/250/0,75) a tepelnou izolací (minerální vlna ISOVER LAM30, tloušťka 150 mm, objemová tíha cca 1 kN/m<sup>3</sup>).

## 26.4. Hlavní nosná konstrukce haly

Příčná vazba je tvořená příhradovým vazníkem skládajícím se z jednotlivých profilů čtvercových trubek válcovaných za tepla (z důvodu nižší pracnosti svařovaných spojů byly zvoleny trubky čtvercového profilu namísto trubek kruhového profilu), a vetknutými sloupy profilu HEA. Zatížení se do styčníků přenáší vaznicemi. Příhradový vazník je na sloupy uložen horním pásem kloubově. Normálová síla ve spodním pásu mezi styčником a sloupem nevzniká, ale spodní pás je v daném místě navržen z důvodu zajištění stability spodního pásu vazníku proti vybočení z roviny. Spoj je proveden čelním plechem s distanční podložkou umožňující deformace příhradového vazníku vlivem změn teploty. Ze stejného důvodu jsou z konstrukčního hlediska navržena také ztužidla ve třetinách rozpětí příhradového vazníku, která zajišťují polohu dolního pásu příhradového vazníku proti vybočení z roviny vazníku. Spoje jednotlivých prvků příhradového vazníku – horní pás, spodní pás, diagonály a svislice – jsou provedeny koutovým svarem. Vazník sám je tvořen ze tří montážních celků s ohledem na přepravní možnosti dodavatele. Sloupy navržené z profilu HEA jsou vetknuty do základových patek pomocí kotevních šroubů. Ocelová patka je tvořena patním plechem, podélnými výztuhami z profilu U a příčníky z profilu U. Podélné výztuhy jsou k patnímu plechu přivařeny koutovým svarem.

## 26.5. Ztužení haly

Přenos vodorovných účinků zatížení působícího na halu v příčném směru je zajištěn vetknutými sloupy. V místě hlav sloupů je navržen také příčník, jehož úlohou je přenést tlakové síly působící ve vodorovné rovině v podélném směru až do místa podélného ztužení haly. Střešní ztužidla jsou navržena jako tahová (tlačená diagonála bude uvažována jako vybočená a tedy nepřenášející žádné zatížení), tvořená dvěma diagonálami, z kruhového plného profilu, navržené na maximální tahovou sílu. Ztužení v podélném směru je zajištěno diagonálami, které přenáší účinky vyvozené vodorovně působícími silami. Navržena byla dvě podélná ztužidla umístěná po jednom v podélné stěně přibližně uprostřed rozpětí haly. Tvořené je dvěma diagonálami vzájemně se křížícími (jedna diagonála je navržena jako průběžná a druhá, tvořená dvěma částmi, je připevněna k průběžné diagonále pomocí styčnickového plechu). Samotné diagonály byly navrženy jako trubky čtvercového profilu tažené za tepla.

## 26.6. Vestavěné patro

Strop nad 1.NP je tvořen ocelovými průvlaky profilu IPE, stropnicemi profilu IPE, trapézovým plechem a betonovou deskou. Trapézový plech je uložen na stropnicích jako spojitý nosník o 3 polích. Betonová deska s trapézovým plechem nijak nespolutpůsobí. Spolutpůsobení a spřažení je zajištěno až mezi betonovou deskou a stropnicemi s průvlaky, a to prostřednictvím spřahovacích trnů SD. Využití 2.NP bylo navrženo jako administrativní část s možností výstavby přemístitelných příček s vlastní tíhou  $\leq 2,0 \text{ kN/m}$  - značky Rigips. Podlaha je tvořena vrstvou anhydridu tl. 30 mm, podlahovým topením tl. 20 mm a tepelnou izolací tl. 50 mm sloužící jako zvuková izolace pro dosažení dostatečné kročejové neprůzvučnosti – přestože se jedná o halovou stavbu, její využití bylo stanoveno jako multifunkční a není tedy možné předjímat, zda kročejová neprůzvučnost bude či nebude mít významný vliv na výsledné užívání. Ocelobetonový strop je nesen ocelovými sloupy profilu HEA. V místě hlavy sloupu je styk dvou průvlaků a dvou stropnic, které jsou ke sloupu připojeny kloubově. Sloupy jsou podepřeny patkami, se kterými jsou spojeny kloubově (tuhost spoje zajišťuje společně s podélným a příčným ztužidlem vestavěného patra stabilitu při montáži - připevnění průvlaků a stropnic - a tím je zajištěna následná stabilita sloupu).

## 26.7. Ztužení vestavěného patra

Konstrukce ocelobetonového stropu, respektive spoje jednotlivých prvků (sloupu se stropnicemi a průvlaky, stropnic s průvlaky a sloupů se základovými patkami) jsou

kloubové, a proto je nezbytné navrhnout a posoudit vodorovné a příčné (s ohledem na orientaci podélné a příčné osy haly) ztužení. Navrženo bylo jedno podélné a jedno příčné ztužidlo tvořené vždy dvěma diagonálami vzájemně se křížícími. Samotné diagonály byly navrženy jako plné ocelové kruhové tyče namáhané na tah (tlačená diagonála bude uvažována jako vybočená a tedy nepřenášející žádné zatížení).

## **26.8. Závěr technické zprávy**

Návrh a statický výpočet byl proveden podle následujících eurokódů při použití vzorců a vztahů v nich uvedených:

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí (část 1-1 - objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, 1-3 - zatížení sněhem, 1-4 - zatížení větrem)

ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí (část 1-1 – obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)

ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí (část 1-1 - obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 1-5 - boulení stěn, 1-8 - navrhování styčníků)

ČSN EN 1994 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí (část 1-1 - obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)

Povrchová ochrana ocelové konstrukce bude provedena nátěrovým systémem podle stupně agresivity prostředí, kterému budou ocelové konstrukce vystaveny.

## 27. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout hlavní nosnou konstrukci ocelové jednolodní haly s vestavěným patrem užívaným pro administrativní účely. Stropní konstrukce byla navržena ve dvou variantách, a to jako ocelobetonová konstrukce se stropnicemi a průvlaky a jako plechobetonový strop bez stropnic. Hlavní nosná konstrukce příčných vazeb haly byla navržena také ve dvou variantách a to jako dvoukloubový plnostěnný ocelový rám a jako příhradový vazník uložený na ocelové vetknuté sloupy. Střešní konstrukce byla také navržena ve dvou variantách, a to jako střešní plášť z trapézového plechu uložený přímo na hlavní nosnou konstrukci příčné vazby a v druhé variantě trapézového plechu uloženého na ocelové vaznice. Součástí návrhu bylo také ztužení konstrukce vestavěného patra, ztužení střešní konstrukce a podélného ztužení haly.

V rámci diplomové práce byl proveden také výpočet únosnosti zvolených detailů, a to návrh ocelové patky přenášející ohybový moment, vybraný styčník příhradového vazníku a styk dvou průvlaků a dvou stropnic v hlavě sloupu.

Diplomová práce mi pomohla utříbit vědomosti a ověřit je při výpočtu komplexní konstrukce. V rámci studia byla vždy látka probírána a ověřována na reálných konstrukcích, ale až v rámci diplomové práce bylo možné jednotlivé vědomosti propojit.

**Seznam obrázků**

Obrázek 1 Schematický půdorys nosné kce haly .....	20
Obrázek 2 Schematický boční pohled na nosnou kci haly .....	21
Obrázek 3 Schematický příčný řez nosnou kci haly (bez vloženého patra).....	21
Obrázek 4 Schematický řez střešním pláštěm .....	32
Obrázek 5 Schematický pohled na dvoukloubový rám .....	44
Obrázek 6 Schematický řez obvodovým pláštěm .....	44
Obrázek 7 Kombinační tabulka zatížení rámu .....	49
Obrázek 8 Kombinační tabulka zatížení vazníku .....	68
Obrázek 9 Schematický pohled na příhradový vazník .....	70
Obrázek 10 Schematický pohled na vybraný styčník .....	75
Obrázek 11 Schematický půdorys ocelové vetknuté patky .....	91
Obrázek 12 Schematický boční pohled na ocelovou vetknutou patku.....	91
Obrázek 13 Schéma efektivní šířky patního plechu .....	92
Obrázek 14 Schematické znázornění působení vnitřních sil na patce .....	93
Obrázek 15 Schéma vnitřních sil působících na patce a svarů .....	93
Obrázek 16 Schematické znázornění řezů pro posouzení svaru .....	98
Obrázek 17 Schematický půdorys nosné kce stropu s vyznačením posuzovaných prvků .....	107
Obrázek 18 Schematický řez stropem v místě napojení stropnice na průvlak .....	108

**Seznam tabulek**

Tabulka 1 Stanovení únosnosti prutů příhradového vazníku 1 .....	71
Tabulka 2 Stanovení únosnosti prutů příhradového vazníku 2 .....	72
Tabulka 3 Stanovení únosnosti prutů příhradového vazníku 3 .....	72
Tabulka 4 Průřezové charakteristiky ocelové patky .....	95
Tabulka 5 Posouzení průřezu ocelové patky .....	96
Tabulka 6 Posouzení svaru v řezu 1-1 .....	98
Tabulka 7 Posouzení svaru v řezu 2-2 .....	99
Tabulka 8 Výkaz výměr .....	160

## Seznam použitých pramenů

### Literatura

- [1] Prof. Ing. Studnička Jiří, DrSc., Ocelobetonové spřažené konstrukce, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2009, 152 stran
- [2] Wald František, Ocelové konstrukce 10, Tabulky, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006
- [3] Prof. Ing. Studnička Jiří, DrSc., Ocelové konstrukce, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2004, 144 stran
- [4] Prof. Ing. Studnička Jiří, DrSc. a Prof. Ing. Macháček Josef, DrSc., Ocelové konstrukce 2, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005
- [5] Kolektiv autorů, Navrhování betonových konstrukcí, příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2, TP 1.13, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, Rada pro podporu rozvoje profese ČKAIT, 2013
- [6] Kolektiv autorů, Navrhování ocelových konstrukcí, příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8, Navrhování hliníkových konstrukcí, příručka k ČSN EN 1999-1, TP 1.14, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, Rada pro podporu rozvoje profese ČKAIT, 2009
- [7] Kolektiv autorů, Navrhování ocelobetonových konstrukcí, příručka k ČSN EN 1994-1-1, TP 1.15, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, Rada pro podporu rozvoje profese ČKAIT, 2009
- [8] Kolektiv autorů, Navrhování konstrukcí na zatížení větrem, příručka k ČSN EN 1991-1-4, TP 1.18, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, Rada pro podporu rozvoje profese ČKAIT, 2010

### Internet

- [1] [www.rigips.cz](http://www.rigips.cz)
- [2] [www.kovprof.cz](http://www.kovprof.cz)
- [3] [www.isover.cz](http://www.isover.cz)
- [4] [www.profesis.cz](http://www.profesis.cz)

## **Normy**

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí (část 1-1 - objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, část 1-3 - zatížení sněhem, část 1-4 - zatížení větrem)
- [3] ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí (část 1-1 – obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)
- [4] ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí (část 1-1 - obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, část 1-5 - boulení stěn, část 1-8 - navrhování styčníků)
- [5] ČSN EN 1994 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí (část 1-1 - obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby)

## **Seznam použitého software**

SCIA Engineer	Výpočetní software pro statické výpočty
AutoCad 2016	Grafický software pro tvorbu projektové dokumentace
MS Excel 2016	Tabulkový procesor
MS Word 2016	Textový editor



## Seznam příloh

Příloha č.1	Kombinace zatěžovacích stavů rámu
Příloha č.2	Kombinace zatěžovacích stavů příhradového vazníku
Příloha č.3	Kombinace zatěžovacích stavů sloupu příhradového vazníku
Výkres č.1	Půdorys 1. NP
Výkres č.2	Půdorys 2. NP
Výkres č.3	Nosná konstrukce ocelové haly
Výkres č.4	Nosná konstrukce stropu
Výkres č.5	Koordinační výkres stropu a 2. NP
Výkres č.6	Řez
Výkres č.7	Příhradový vazník
Výkres č.8	Detail A
Výkres č.9	Detail B
Výkres č.10	Detail C
Výkres č.11	Styk 2 stropnic a 2 průvlaků v hlavě sloupu
Výkres č.12	Styk stropnice a průvlaku
Výkres č.13	Ocelová vetknutá patka